

JP00/02611

PCT/JP00/02611

25.05.00

EU

日本国特許庁

PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT

REC'D 27 JUL 2000

WIPO

PCT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日

Date of Application:

2000年 2月23日

出願番号

Application Number:

特願2000-045963

出願人

Applicant(s):

日本電信電話株式会社

091787927

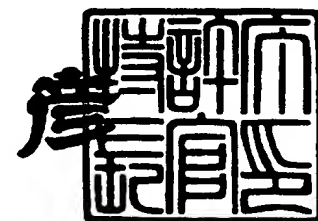
**PRIORITY
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

2000年 6月29日

特許庁長官
Commissioner,
Patent Office

近藤 隆彦



出証番号 出証特2000-3049177

【書類名】 特許願

【整理番号】 NTTH116542

【提出日】 平成12年 2月23日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H03D 5/00

【発明者】

【住所又は居所】 東京都新宿区西新宿三丁目 1 9 番 2 号 日本電信電話株式会社内

【氏名】 熊谷 智明

【発明者】

【住所又は居所】 東京都新宿区西新宿三丁目 1 9 番 2 号 日本電信電話株式会社内

【氏名】 溝口 匡人

【発明者】

【住所又は居所】 東京都新宿区西新宿三丁目 1 9 番 2 号 日本電信電話株式会社内

【氏名】 守倉 正博

【特許出願人】

【識別番号】 000004226

【氏名又は名称】 日本電信電話株式会社

【代理人】

【識別番号】 100074930

【弁理士】

【氏名又は名称】 山本 恵一

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 001742

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9701414

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 OFDM復調装置

【特許請求の範囲】

【請求項1】 OFDM信号を受信し受信処理を行う受信手段と、

前記受信手段によって受信処理された受信信号に対しタイミング同期処理および搬送波周波数同期処理を行い同期処理後の信号を出力する同期処理手段と、

前記同期処理手段によってタイミング同期処理および搬送波周波数同期処理された信号をフーリエ変換を用いてサブキャリア毎の信号に分離するフーリエ変換手段と

を備えたOFDM復調装置において、

前記フーリエ変換手段によって分離された各サブキャリア信号を用いてサブキャリア毎にチャンネル特性の推定を行うチャンネル推定手段と、

前記チャンネル推定手段によって得られた各サブキャリアのチャンネル特性の推定結果を用いて前記フーリエ変換手段によって分離されたサブキャリア信号に対しサブキャリア毎に等化処理および同期検波処理を行い検波信号を出力する同期検波手段と、

前記同期検波手段によって出力された検波信号からあらかじめ定められる少なくとも1つのOFDMシンボルに含まれる検波信号を抽出し出力する特定シンボル抽出手段と、

前記特定シンボル抽出手段によって得られた該OFDMシンボルに含まれる検波信号を硬判定し判定結果を出力する硬判定手段と、

前記硬判定手段から出力された硬判定結果を用いて前記特定シンボル抽出手段から出力された検波信号の残留搬送波周波数誤差に起因する位相回転量をサブキャリア毎に検出する位相回転量検出手段と、

前記チャンネル推定手段によって得られた各サブキャリアのチャンネル特性の推定結果を用いて各サブキャリア信号のSN比に応じた重み係数をサブキャリア毎に演算する重み係数演算手段と、

前記重み係数演算手段により得られた各サブキャリアの重み係数を用いて前記位相回転量検出手段によって検出された残留搬送波周波数誤差による各サブキャ

リアの位相回転量に対しそれぞれ重み付けを行う重み付け手段と、

前記重み付け手段によって得られた重み付け後の残留搬送波周波数誤差による各サブキャリアの位相回転量に対し 1 O F D M シンボル内の平滑化処理を行う平滑化手段と、

前記平滑化手段によって得られた平滑化信号を用いて検波信号の残留搬送波周波数誤差に起因する 1 O F D M シンボルあたりの位相回転量を演算する単位量演算手段と、

前記単位量演算手段によって得られた検波信号の残留搬送波周波数誤差に起因する 1 O F D M シンボルあたりの位相回転量を用いて前記同期検波手段から出力された検波信号の残留搬送波周波数誤差に起因する位相回転量を 1 O F D M シンボル毎に推定する位相回転量推定手段と、

前記位相回転量推定手段によって推定された位相回転量情報を用いて前記同期検波手段から出力された検波信号に対して残留搬送波周波数誤差により生じた位相回転を補正する位相回転補正手段と

を備えたことを特徴とする O F D M 復調装置。

【請求項 2】 O F D M 信号を受信し受信処理を行う受信手段と、

前記受信手段によって受信処理された受信信号に対しタイミング同期処理および搬送波周波数同期処理を行い同期処理後の信号を出力する同期処理手段と、

前記同期処理手段によってタイミング同期処理および搬送波周波数同期処理された信号をフーリエ変換を用いてサブキャリア毎の信号に分離するフーリエ変換手段と

を備えた O F D M 復調装置において、

前記フーリエ変換手段によって分離された各サブキャリア信号を用いてサブキャリア毎にチャンネル特性の推定を行うチャンネル推定手段と、

前記チャンネル推定手段によって得られた各サブキャリアのチャンネル特性の推定結果を用いて前記フーリエ変換手段によって分離されたサブキャリア信号に対しサブキャリア毎に等化処理および同期検波処理を行い検波信号を出力する同期検波手段と、

前記同期検波手段によって出力された検波信号から特定の 1 つの O F D M シン

ボルに含まれる検波ベクトル信号を抽出し出力する特定シンボル抽出手段と、

前記特定シンボル抽出手段によって得られた該 OFDM シンボルに含まれる検波ベクトル信号を硬判定し判定結果を出力する硬判定手段と、

前記特定シンボル抽出手段から出力された検波ベクトル信号に対して前記硬判定手段から出力された硬判定結果に応じて定められる位相回転量を付加することにより逆変調を行い各サブキャリアの逆変調ベクトル信号を出力する逆変調手段と、

前記チャネル推定手段によって得られた各サブキャリアのチャネル特性の推定結果を用いて各サブキャリア信号の SN 比に応じた重み係数をサブキャリア毎に演算する重み係数演算手段と、

前記重み係数演算手段により得られた各サブキャリアの重み係数を用いて前記逆変調手段から出力される各サブキャリアの逆変調ベクトル信号に対しそれぞれ重み付けを行う重み付け手段と、

前記重み付け手段によって得られた重み付け後の各サブキャリアの逆変調ベクトル信号のベクトル和を演算することにより該逆変調ベクトル信号の位相成分の平滑化を行うベクトル和演算手段と、

前記ベクトル和演算手段によって得られたベクトル和の位相を検出する位相検出手段と、

前記位相検出手段によって得られた位相回転量を用いて検波信号の残留搬送波周波数誤差に起因する 1 OFDM シンボルあたりの位相回転量を演算する単位量演算手段と、

前記単位量演算手段によって演算された残留搬送波周波数誤差に起因する 1 OFDM シンボルあたりの位相回転量に基づいて前記同期検波手段から出力された検波信号の残留搬送波周波数誤差に起因する位相回転量を 1 OFDM シンボル毎に推定する位相回転量推定手段と、

前記位相回転量推定手段から出力された位相回転量情報を用いて前記同期検波手段から出力された検波信号に対して残留搬送波周波数誤差により生じた位相回転を補正する位相回転補正手段と

を備えたことを特徴とする OFDM 復調装置。

【請求項3】 請求項2に記載のOFDM復調装置において、
受信信号がBPSK信号であり、

前記逆変調手段は前記特定シンボル抽出手段から出力された特定の1つのOFDMシンボルに含まれる検波ベクトル信号の同相成分および直交成分に対して前記硬判定手段から出力された硬判定結果に応じて符号の反転処理を行うことによって逆変調を行い各サブキャリアの逆変調ベクトル信号を出力することを特徴とするOFDM復調装置。

【請求項4】 OFDM信号を受信し受信処理を行う受信手段と、

前記受信手段によって受信処理された受信信号に対しタイミング同期処理および搬送波周波数同期処理を行い同期処理後の信号を出力する同期処理手段と、

前記同期処理手段によってタイミング同期処理および搬送波周波数同期処理された信号をフーリエ変換を用いてサブキャリア毎の信号に分離するフーリエ変換手段と

を備えたOFDM復調装置において、

前記フーリエ変換手段によって分離された各サブキャリア信号を用いてサブキャリア毎にチャネル特性の推定を行うチャネル推定手段と、

前記チャネル推定手段によって得られた各サブキャリアのチャネル特性の推定結果を用いて前記フーリエ変換手段によって分離されたサブキャリア信号に対しサブキャリア毎に等化処理および同期検波処理を行い検波信号を出力する同期検波手段と、

前記同期検波手段によって出力された検波信号から特定の1つのOFDMシンボルに含まれる検波信号を抽出し出力する特定シンボル抽出手段と、

前記特定シンボル抽出手段によって得られた該OFDMシンボルに含まれる検波信号を硬判定し判定結果を出力する硬判定手段と、

前記硬判定手段から出力された硬判定結果を用いて前記特定シンボル抽出手段から出力された検波信号の残留搬送波周波数誤差に起因する位相回転量をサブキャリア毎に検出する位相回転量検出手段と、

前記チャネル推定手段によって得られた各サブキャリアのチャネル特性の推定結果を用いて各サブキャリア信号のSN比に応じた重み係数をサブキャリア毎に

演算する重み係数演算手段と、

前記重み係数演算手段により得られた各サブキャリアの重み係数を用いて前記位相回転量検出手段によって検出された残留搬送波周波数誤差による各サブキャリアの位相回転量に対しそれぞれ重み付けを行う重み付け手段と、

前記重み付け手段によって得られた重み付け後の残留搬送波周波数誤差による各サブキャリアの位相回転量に対し 1 O F D M シンボル内の平滑化処理を行う平滑化手段と、

前記平滑化手段によって得られた平滑化信号を用いて検波信号の残留搬送波周波数誤差に起因する 1 O F D M シンボルあたりの位相回転量を演算する単位量演算手段と、

前記同期検波手段によって出力された検波信号からパイロット信号に相当する検波信号を抽出するパイロット信号抽出手段と、

前記パイロット信号抽出手段によって抽出されたパイロット信号に相当する各検波信号の位相回転を検出して残留搬送波周波数検出誤差に起因する該検波ベクトル信号の 1 O F D M シンボルあたりの位相回転量を検出する残留位相誤差検出手段と、

前記単位量演算手段によって演算された残留搬送波周波数誤差に起因する 1 O F D M シンボルあたりの位相回転量と前記残留位相誤差検出手段によって得られた 1 O F D M シンボルあたりの位相回転量のうち前記同期検波手段から出力された検波信号の O F D M シンボル相当数に応じてどちらか一方を選択して出力する選択手段と、

前記選択手段によって選択された位相回転量に基づいて前記同期検波手段から出力された検波信号の残留搬送波周波数誤差に起因する位相回転量を推定する位相回転量推定手段と、

前記位相回転量推定手段から出力された位相回転量情報を用いて前記同期検波手段から出力された検波信号に対して残留搬送波周波数誤差により生じた位相回転を補正する位相回転補正手段と

を備えたことを特徴とする O F D M 復調装置。

【請求項 5】 O F D M 信号を受信し受信処理を行う受信手段と、

前記受信手段によって受信処理された受信信号に対しタイミング同期処理および搬送波周波数同期処理を行い同期処理後の信号を出力する同期処理手段と、

前記同期処理手段によってタイミング同期処理および搬送波周波数同期処理された信号をフーリエ変換を用いてサブキャリア毎の信号に分離するフーリエ変換手段と

を備えたOFDM復調装置において、

前記フーリエ変換手段によって分離された各サブキャリア信号を用いてサブキャリア毎にチャネル特性の推定を行うチャネル推定手段と、

前記チャネル推定手段によって得られた各サブキャリアのチャネル特性の推定結果を用いて前記フーリエ変換手段によって分離されたサブキャリア信号に対しサブキャリア毎に等化処理および同期検波処理を行い検波信号を出力する同期検波手段と、

前記同期検波手段によって出力された検波信号から特定の1つのOFDMシンボルに含まれる検波ベクトル信号を抽出し出力する特定シンボル抽出手段と、

前記特定シンボル抽出手段によって得られた該OFDMシンボルに含まれる検波ベクトル信号を硬判定し判定結果を出力する硬判定手段と、

前記特定シンボル抽出手段から出力された検波ベクトル信号に対して前記硬判定手段から出力された硬判定結果に応じて定められる位相回転量を付加することにより逆変調を行い各サブキャリアの逆変調ベクトル信号を出力する逆変調手段と、

前記チャネル推定手段によって得られた各サブキャリアのチャネル特性の推定結果を用いて各サブキャリア信号のSN比に応じた重み係数をサブキャリア毎に演算する重み係数演算手段と、

前記重み係数演算手段により得られた各サブキャリアの重み係数を用いて前記逆変調手段から出力される各サブキャリアの逆変調ベクトル信号に対しそれぞれ重み付けを行う重み付け手段と、

前記重み付け手段によって得られた重み付け後の各サブキャリアの逆変調ベクトル信号のベクトル和を演算することにより該逆変調ベクトル信号の位相成分の平滑化を行うベクトル和演算手段と、

前記ベクトル和演算手段によって得られたベクトル和の位相を検出する位相検出手段と、

前記位相検出手段によって得られた位相回転量を用いて検波信号の残留搬送波周波数誤差に起因する 1 OFDM シンボルあたりの位相回転量を演算する単位量演算手段と、

前記同期検波手段によって出力された検波信号からパイロット信号に相当する検波ベクトル信号を抽出するパイロット信号抽出手段と、

前記パイロット信号抽出手段によって抽出されたパイロット信号に相当する各検波ベクトル信号の位相回転を検出して残留搬送波周波数検出誤差に起因する該検波ベクトル信号の 1 OFDM シンボルあたりの位相回転量を検出する残留位相誤差検出手段と、

前記単位量演算手段によって演算された残留搬送波周波数誤差に起因する 1 OFDM シンボルあたりの位相回転量と前記残留位相誤差検出手段によって得られた 1 OFDM シンボルあたりの位相回転量のうち前記同期検波手段から出力された検波信号の OFDM シンボル相当数に応じてどちらか一方を選択して出力する選択手段と、

前記選択手段によって選択された位相回転量に基づいて前記同期検波手段から出力された検波信号の残留搬送波周波数誤差に起因する位相回転量を推定する位相回転量推定手段と、

前記位相回転量推定手段から出力された位相回転量情報を用いて前記同期検波手段から出力された検波信号に対して残留搬送波周波数誤差により生じた位相回転を補正する位相回転補正手段と

を備えたことを特徴とする OFDM 復調装置。

【請求項 6】 請求項 5 に記載の OFDM 復調装置において、
受信信号が BPSK 信号であり、

前記逆変調手段は前記特定シンボル抽出手段から出力された特定の 1 つの OFDM シンボルに含まれる検波ベクトル信号の同相成分および直交成分に対して前記硬判定手段から出力された硬判定結果に応じて符号の反転処理を行うことによって逆変調を行い各サブキャリアの逆変調ベクトル信号を出力すること

を特徴とするOFDM復調装置。

【請求項7】 OFDM信号を受信し受信処理を行う受信手段と、

前記受信手段によって受信処理された受信信号に対しタイミング同期処理および搬送波周波数同期処理を行い同期処理後の信号を出力する同期処理手段と、

前記同期処理手段によってタイミング同期処理および搬送波周波数同期処理された信号をフーリエ変換を用いてサブキャリア毎の信号に分離するフーリエ変換手段と

を備えたOFDM復調装置において、

前記フーリエ変換手段によって分離された各サブキャリア信号を用いてサブキャリア毎にチャンネル特性の推定を行うチャンネル推定手段と、

前記チャンネル推定手段によって得られた各サブキャリアのチャンネル特性の推定結果を用いて前記フーリエ変換手段によって分離されたサブキャリア信号に対しサブキャリア毎に等化処理および同期検波処理を行い検波信号を出力する同期検波手段と、

前記同期検波手段によって出力された検波信号から特定の1つのOFDMシンボルに含まれる検波信号を抽出し出力する特定シンボル抽出手段と、

前記特定シンボル抽出手段によって得られた該OFDMシンボルに含まれる検波信号を硬判定し判定結果を出力する硬判定手段と、

前記硬判定手段から出力された硬判定結果を用いて前記特定シンボル抽出手段から出力された検波信号の残留搬送波周波数誤差に起因する位相回転量をサブキャリア毎に検出する第一の位相回転量検出手段と、

前記チャンネル推定手段によって得られた各サブキャリアのチャンネル特性の推定結果を用いて各サブキャリア信号のSN比に応じた重み係数をサブキャリア毎に演算する重み係数演算手段と、

前記重み係数演算手段により得られた各サブキャリアの重み係数を用いて前記第一の位相回転量検出手段によって検出された残留搬送波周波数誤差による各サブキャリアの位相回転量に対しそれぞれ重み付けを行う第一の重み付け手段と、

前記第一の重み付け手段によって得られた重み付け後の残留搬送波周波数誤差による各サブキャリアの位相回転量に対し1OFDMシンボル内の平滑化処理を

行う第一の平滑化手段と、

前記第一の平滑化手段によって得られた平滑化信号を用いて検波信号の残留搬送波周波数誤差に起因する1 OFDMシンボルあたりの位相回転量を演算する単位量演算手段と、

前記同期検波手段によって出力された検波信号からパイロット信号に相当する検波ベクトル信号を抽出するパイロット信号抽出手段と、

前記重み係数演算手段により得られた各サブキャリアの重み係数を用いて前記パイロット信号抽出手段によって抽出されたパイロット信号に相当する各検波ベクトル信号に対しそれぞれ重み付けを行う第二の重み付け手段と、

前記第二の重み付け手段によって得られた重み付け後の各検波ベクトル信号のベクトル和を演算することにより該検波ベクトル信号の位相成分の平滑化を行うベクトル和演算手段と、

前記ベクトル和演算手段によって得られたベクトル和を1 OFDMシンボルの期間だけ遅延させる遅延手段と、

前記遅延手段によって1 OFDMシンボルの期間だけ遅延したベクトル和に対する前記ベクトル和演算手段によって得られたベクトル和の位相回転量を検出する第二の位相回転量検出手段と、

前記第二の位相回転量検出手段によって検出された位相回転量を1 OFDMシンボル毎に積分処理して該位相回転量の積分値を出力する積分手段と、

前記積分手段によって積分された位相回転量の積分値を複数OFDMシンボルに渡って時間方向に平滑化を行う第二の平滑化手段と、

前記第二の平滑化手段によって平滑化された位相回転量の積分値を前記積分手段によって積分されたOFDMシンボル数と前記第二の平滑化手段によって平滑化されたOFDMシンボル数に応じた数を用いて除算を行い1 OFDMシンボルあたりの平均の位相回転量を出力する除算手段と、

前記単位量演算手段によって演算された残留搬送波周波数誤差に起因する1 OFDMシンボルあたりの位相回転量と前記除算手段によって得られた1 OFDMシンボルあたりの平均の位相回転量のうち前記積分手段によって積分されたOFDMシンボル数に応じてどちらか一方を選択して出力する選択手段と、

前記選択手段によって選択された位相回転量に基づいて前記同期検波手段から出力された検波信号の残留搬送波周波数誤差に起因する位相回転量を推定する位相回転量推定手段と、

前記位相回転量推定手段から出力された位相回転量情報を用いて前記同期検波手段から出力された検波信号に対して残留搬送波周波数誤差により生じた位相回転を補正する位相回転補正手段と

を備えたことを特徴とするOFDM復調装置。

【請求項 8】 OFDM信号を受信し受信処理を行う受信手段と、

前記受信手段によって受信処理された受信信号に対しタイミング同期処理および搬送波周波数同期処理を行い同期処理後の信号を出力する同期処理手段と、

前記同期処理手段によってタイミング同期処理および搬送波周波数同期処理された信号をフーリエ変換を用いてサブキャリア毎の信号に分離するフーリエ変換手段と

を備えたOFDM復調装置において、

前記フーリエ変換手段によって分離された各サブキャリア信号を用いてサブキャリア毎にチャネル特性の推定を行うチャネル推定手段と、

前記チャネル推定手段によって得られた各サブキャリアのチャネル特性の推定結果を用いて前記フーリエ変換手段によって分離されたサブキャリア信号に対しサブキャリア毎に等化処理および同期検波処理を行い検波信号を出力する同期検波手段と、

前記同期検波手段によって出力された検波信号から特定の1つのOFDMシンボルに含まれる検波ベクトル信号を抽出し出力する特定シンボル抽出手段と、

前記特定シンボル抽出手段によって得られた該OFDMシンボルに含まれる検波ベクトル信号を硬判定し判定結果を出力する硬判定手段と、

前記特定シンボル抽出手段から出力された検波ベクトル信号に対して前記硬判定手段から出力された硬判定結果に応じて定められる位相回転量を付加することにより逆変調を行い各サブキャリアの逆変調ベクトル信号を出力する逆変調手段と、

前記チャネル推定手段によって得られた各サブキャリアのチャネル特性の推定

結果を用いて各サブキャリア信号のSN比に応じた重み係数をサブキャリア毎に演算する重み係数演算手段と、

前記重み係数演算手段により得られた各サブキャリアの重み係数を用いて前記逆変調手段から出力される各サブキャリアの逆変調ベクトル信号に対しそれぞれ重み付けを行う第一の重み付け手段と、

前記第一の重み付け手段によって得られた重み付け後の各サブキャリアの逆変調ベクトル信号のベクトル和を演算することにより該逆変調ベクトル信号の位相成分の平滑化を行う第一のベクトル和演算手段と、

前記第一のベクトル和演算手段によって得られたベクトル和の位相を検出する位相検出手段と、

前記位相検出手段によって得られた位相回転量を用いて検波信号の残留搬送波周波数誤差に起因する1 OFDMシンボルあたりの位相回転量を演算する単位量演算手段と、

前記同期検波手段によって出力された検波信号からパイロット信号に相当する検波ベクトル信号を抽出するパイロット信号抽出手段と、

前記重み係数演算手段により得られた各サブキャリアの重み係数を用いて前記パイロット信号抽出手段によって抽出されたパイロット信号に相当する各検波ベクトル信号に対しそれぞれ重み付けを行う第二の重み付け手段と、

前記第二の重み付け手段によって得られた重み付け後の各検波ベクトル信号のベクトル和を演算することにより該検波ベクトル信号の位相成分の平滑化を行う第二のベクトル和演算手段と、

前記第二のベクトル和演算手段によって得られたベクトル和を1 OFDMシンボルの期間だけ遅延させる遅延手段と、

前記遅延手段によって1 OFDMシンボルの期間だけ遅延したベクトル和に対する前記第二のベクトル和演算手段によって得られたベクトル和の位相回転量を検出する位相回転量検出手段と、

前記位相回転量検出手段によって検出された位相回転量を1 OFDMシンボル毎に積分処理して該位相回転量の積分値を出力する積分手段と、

前記積分手段によって積分された位相回転量の積分値を複数OFDMシンボル

に渡って時間方向に平滑化を行う平滑化手段と、

前記平滑化手段によって平滑化された位相回転量の積分値を前記積分手段によって積分されたOFDMシンボル数と前記平滑化手段によって平滑化されたOFDMシンボル数に応じた数を用いて除算を行い1OFDMシンボルあたりの平均の位相回転量を出力する除算手段と、

前記単位量演算手段によって演算された残留搬送波周波数誤差に起因する1OFDMシンボルあたりの位相回転量と前記除算手段によって得られた1OFDMシンボルあたりの平均の位相回転量のうち前記積分手段によって積分されたOFDMシンボル数に応じてどちらか一方を選択して出力する選択手段と、

前記選択手段によって選択された位相回転量に基づいて前記同期検波手段から出力された検波信号の残留搬送波周波数誤差に起因する位相回転量を推定する位相回転量推定手段と、

前記位相回転量推定手段から出力された位相回転量情報を用いて前記同期検波手段から出力された検波信号に対して残留搬送波周波数誤差により生じた位相回転を補正する位相回転補正手段と

を備えたことを特徴とするOFDM復調装置。

【請求項9】 請求項8に記載のOFDM復調装置において、

受信信号がBPSK信号であり、

前記逆変調手段は前記特定シンボル抽出手段から出力された特定の1つのOFDMシンボルに含まれる検波ベクトル信号の同相成分および直交成分に対して前記硬判定手段から出力された硬判定結果に応じて符号の反転処理を行うことによって逆変調を行い各サブキャリアの逆変調ベクトル信号を出力すること

を特徴とするOFDM復調装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、直交周波数分割多重(Orthogonal Frequency Division Multiplexing: OFDM)方式を用いるデジタル無線通信システムの復調装置において、残留搬送波周波数誤差に起因する位相回転量を簡易に精度良く検出し、受信特性の

劣化を少ない処理遅延で補償する復調装置に関する。

【 0 0 0 2 】

【従来の技術】

OFDM方式を用いたマルチキャリアシステムでは、受信側で受信信号から各サブキャリアの信号を分離するために高速フーリエ変換を用いるのが一般的である。これを利用し、送信時に1 OFDMシンボル毎にデータ部分を循環的に拡張した信号をガードインターバルとして各OFDMシンボルに付加して送信することにより、受信側でシンボルタイミングすなわちFFTウィンドウタイミングが多少ずれた場合であっても、それがガードインターバル内に収まる程度のずれであれば、隣接シンボルからの干渉を受けずに復調することができる。このことはOFDMを用いたシステムが遅延波によるマルチパス干渉に強い理由にもなっている。

【 0 0 0 3 】

図12は、従来のOFDM復調装置の構成例を示す図である。図10にこのシステムで扱うOFDM信号のバーストフォーマットを示す。図12において、アンテナ1で受信されたOFDM信号は、受信回路2に入力される。受信回路2は入力されたOFDM信号に対し、周波数変換、フィルタリングおよび直交検波等の受信処理を行い複素ベースバンド信号として出力する。受信回路2から出力された複素ベースバンド信号は同期処理回路3に入力される。同期処理回路3では入力された複素ベースバンド信号の同期用プリアンブル信号を用いて搬送波周波数誤差およびシンボルタイミングを検出し、検出した搬送波周波数誤差情報を用いて受信処理後の複素ベースバンド信号に対して搬送波周波数誤差補正処理を行い出力するとともに、検出したシンボルタイミング情報信号を出力する。シンボルタイミングの検出は、続くガードインターバル除去回路4において、複素ベースバンド信号からガードインターバルを除去しフーリエ変換回路5に入力する信号を抽出するために必要となる。

【 0 0 0 4 】

同期処理回路3から出力された搬送波周波数誤差補正処理後の信号およびシンボルタイミング情報信号はガードインターバル除去回路4に入力される。ガード

インターバル除去回路4では、入力されたシンボルタイミング情報に従い、入力された搬送波周波数誤差補正処理後の信号に1 OFDMシンボル毎に1 OFDMシンボル長からガードインターバルに相当する信号を抜いた時間幅のFFTウィンドウをかけることによりガードインターバルに相当する信号を除去し、フーリエ変換回路5に入力すべき信号を抽出し出力する。ガードインターバル除去回路4から出力されたガードインターバル除去後の信号はフーリエ変換回路5に入力される。フーリエ変換回路5では、入力されたガードインターバル除去後の信号を高速フーリエ変換することにより各サブキャリア信号を分離して抽出し出力する。

【0005】

なお、このフーリエ変換回路5は、1 OFDMシンボル毎に高速フーリエ変換処理を行う。フーリエ変換回路5から出力された各サブキャリア信号は同期検波回路7に入力されるとともにチャンネル推定回路6に入力される。チャンネル推定回路6では、入力された各サブキャリア信号のうちチャンネル推定用プリアンプル信号に相当する信号を用いてOFDM信号が通ってきたチャンネルの状態を推定し、推定されたチャンネル推定結果を出力する。このチャンネル推定結果からは、例えば、各々のサブキャリアの振幅や位相がフェージングによりどのような影響を受けているかを知ることができる。

【0006】

チャンネル推定回路6から出力された各サブキャリアのチャンネル推定結果は同期検波回路7に入力される。同期検波回路7では、入力された各サブキャリアのチャンネル推定結果を用いて各サブキャリア毎にフェージング等のチャンネル特性に起因する振幅変動および位相回転を補正するとともに同期検波を行い、検波信号を出力する。同期検波回路7から出力された検波信号はパイロット信号抽出回路8に入力されるとともに位相回転補正回路13に入力される。パイロット信号抽出回路8では、入力された検波信号からパイロット信号に相当する信号を抽出して出力する。

【0007】

なお、パイロット信号は各OFDMシンボルにおいて異なる複数のサブキャリ

アを用いて送信されているものとし、これらのサブキャリアをパイロットサブキャリアと呼ぶことにする。パイロット信号抽出回路 8 から出力されたパイロット信号は位相回転量検出回路 9 に入力される。一方、基準パイロット信号記憶回路 10 は、位相回転や雑音等の影響が無く理想的にパイロット信号が受信された場合の信号情報を予め記憶しており、パイロット信号抽出回路 8 が出力するパイロット信号に対応する基準パイロット信号の情報を出力する。基準パイロット信号記憶回路 10 から出力された基準パイロット信号情報もまた位相回転量検出回路 9 に入力される。位相回転量検出回路 9 では、入力された基準パイロット信号情報を用いて、パイロット信号抽出回路 8 から入力されたパイロット信号の残留搬送波周波数誤差により生じる各パイロットサブキャリアの位相回転量を検出し、各パイロットサブキャリアの位相回転量情報を 1 OFDM シンボル毎に出力する。

【0008】

なお、残留搬送波周波数誤差とは、前述の受信回路 2 で付加される熱雑音等の影響によって、同期処理回路 3 にて補正しきれずに同期処理後の信号に残留してしまう搬送波周波数誤差のことである。位相回転量検出回路 9 から出力された各パイロットサブキャリアの位相回転量情報はシンボル内平滑化回路 11 に入力される。シンボル内平滑化回路 11 では、当該 OFDM シンボル内の各パイロットサブキャリアの位相回転量情報を平滑化して 1 OFDM シンボル毎に出力する。

【0009】

一般に、搬送波周波数誤差によって各サブキャリア信号には各サブキャリア信号に共通の位相回転が付加されることになる。また、同期処理回路 3 では、該回路にて検出した搬送波周波数誤差による位相回転を打ち消すような各サブキャリア共通の位相回転を各サブキャリア信号に与えることにより、搬送波周波数誤差補正を行うのが一般的である。従って、同期処理回路 3 から出力される各サブキャリア信号には同一の残留搬送波周波数誤差が生じることになるため、位相回転量検出回路 9 から出力される各パイロットサブキャリアの残留搬送波周波数誤差による位相回転量は、各パイロットサブキャリア間で同一となるはずである。

【0010】

しかし、実際には、受信回路 2 において付加される熱雑音等の影響により、位相回転量検出回路 9 から出力される各パイロットサブキャリアの位相回転量にばらつきが生じる。シンボル内平滑化回路 1 1 では、このばらつきの影響を小さくするために当該シンボルの各パイロットサブキャリアの位相回転量に対して当該シンボル内で平滑化処理を行い、当該シンボル内の各サブキャリアの残留搬送波周波数誤差による位相回転量を精度良く求めているのである。シンボル内平滑化回路 1 1 から出力された各サブキャリアの残留搬送波周波数誤差による位相回転量情報は移動平均回路 1 2 に入力される。移動平均回路 1 2 は、シンボル内平滑化回路 1 1 から入力される位相回転量情報に対して時間方向に複数 OFDM シンボルに渡る移動平均処理を行い出力する。通常のシステムにおいては、高い周波数利用効率を維持するために、1 OFDM シンボル中のパイロットサブキャリアの数は小さく設定される。

【0 0 1 1】

従って、前述のシンボル内平滑化回路 1 1 で 1 OFDM シンボル内の平滑化処理を行うだけでは熱雑音等の影響を十分に除去することができないため、移動平均回路 1 2 において時間方向に対しても平滑化を行う。移動平均回路 1 2 から出力された移動平均後の位相回転量情報は、位相回転補正回路 1 3 に入力される。位相回転補正回路 1 3 では、同期検波回路 7 が出力する各サブキャリアの検波信号の残留搬送波周波数誤差に起因する位相回転を、移動平均回路 1 2 から入力される位相回転量情報を用いてシンボル毎およびサブキャリア毎にそれぞれ補正する。位相回転補正回路 1 3 から出力された位相回転補正後の検波信号は識別回路 1 4 に入力される。識別回路 1 4 は、位相回転補正回路 1 3 が出力する検波信号を入力し、検波信号に含まれるデータ信号に対してシンボル判定を行い、判定結果を出力する。

【0 0 1 2】

【発明が解決しようとする課題】

前述のように、送受間の搬送波周波数にずれがある場合に OFDM バースト信号を同期検波するためには、通常、OFDM バースト信号の先頭に設けられる同期用プリアンプル信号を用いて搬送波周波数誤差を検出し、検出した搬送波周波

数誤差情報を用いて受信処理後の複素ベースバンド信号に対して搬送波周波数誤差補正処理を行う。ところが、一般に、周波数変換や直交検波等を行う受信処理部において熱雑音等の雑音成分が受信信号に付加されるため、上述のような搬送波周波数誤差補正処理のみでは完全に搬送波周波数誤差補正を施すことは不可能であり、残留した搬送波周波数誤差により劣化が生じてしまう。この残留搬送波周波数誤差による劣化を改善するために、従来の装置では、同期検波後に既知信号であるパイロット信号の残留搬送波周波数誤差に起因する位相回転量を検出して位相回転の補正を行っていた。

【0013】

ところで、この残留搬送波周波数誤差に起因する位相回転量を高精度に検出するためには、受信処理部で付加される熱雑音の影響を精度良く除去する必要があるため、非常に多数のパイロット信号の位相回転量を検出して平滑化を行わなければならない。

【0014】

しかしながら、一般に、高い周波数利用効率を維持するためには、パイロットサブキャリアの数をなるべく小さくする必要があるため、十分な平滑化を行うためには非常に多くのOFDMシンボルに渡って検出した多数のパイロット信号の位相回転量を平滑化処理する必要がある。一般に、このような多シンボルに渡る平滑化処理を行うと、大きな処理遅延が生じるためにシステム全体のスループットが低下してしまう問題があった。さらに、従来装置では、時間方向の平滑化の原理上、パケットの先頭部分のOFDMシンボルについては十分な平滑化を行うことができない。従って、パケットの先頭部分のOFDMシンボルの残留周波数誤差に起因する位相回転を精度良く補正することができないという問題もあった。

【0015】

本発明は、上述のような課題を解決するためになされたもので、その目的とするところは、送受間で搬送波周波数にずれがあった場合でも極めて小さな処理遅延で高精度にOFDM信号を復調できるOFDM復調装置を提供することにある。

【 0 0 1 6 】

【課題を解決するための手段】

本発明によれば、上述の問題は、前記特許請求の範囲に記した手段により解決される。

【 0 0 1 7 】

すなわち、本発明のひとつの特徴は、OFDM信号を受信し受信処理を行う受信手段と、前記受信手段によって受信処理された受信信号に対しタイミング同期処理および搬送波周波数同期処理を行い同期処理後の信号を出力する同期処理手段と、前記同期処理手段によってタイミング同期処理および搬送波周波数同期処理された信号をフーリエ変換を用いてサブキャリア毎の信号に分離するフーリエ変換手段とを備えたOFDM復調装置であって、

前記フーリエ変換手段によって分離された各サブキャリア信号を用いてサブキャリア毎にチャンネル特性の推定を行うチャンネル推定手段と、前記チャンネル推定手段によって得られた各サブキャリアのチャンネル特性の推定結果を用いて前記フーリエ変換手段によって分離されたサブキャリア信号に対しサブキャリア毎に等化処理および同期検波処理を行い検波信号を出力する同期検波手段と、前記同期検波手段によって出力された検波信号から特定の1つのOFDMシンボルに含まれる検波信号を抽出し出力する特定シンボル抽出手段と、前記特定シンボル抽出手段によって得られた該OFDMシンボルに含まれる検波信号を硬判定し判定結果を出力する硬判定手段と、前記硬判定手段から出力された硬判定結果を用いて前記特定シンボル抽出手段から出力された検波信号の残留搬送波周波数誤差に起因する位相回転量をサブキャリア毎に検出する位相回転量検出手段と、前記チャンネル推定手段によって得られた各サブキャリアのチャンネル特性の推定結果を用いて各サブキャリア信号のSN比に応じた重み係数をサブキャリア毎に演算する重み係数演算手段と、前記重み係数演算手段により得られた各サブキャリアの重み係数を用いて前記位相回転量検出手段によって検出された残留搬送波周波数誤差による各サブキャリアの位相回転量に対しそれぞれ重み付けを行う重み付け手段と、前記重み付け手段によって得られた重み付け後の残留搬送波周波数誤差による各サブキャリアの位相回転量に対し1 OFDMシンボル内の平滑化処理を行う平

滑化手段と、

前記平滑化手段によって得られた平滑化信号を用いて検波信号の残留搬送波周波数誤差に起因する 1 OFDM シンボルあたりの位相回転量を演算する単位量演算手段と、前記単位量演算手段によって得られた検波信号の残留搬送波周波数誤差に起因する 1 OFDM シンボルあたりの位相回転量を用いて前記同期検波手段から出力された検波信号の残留搬送波周波数誤差に起因する位相回転量を 1 OFDM シンボル毎に推定する位相回転量推定手段と、前記位相回転量推定手段によって推定された位相回転量情報を用いて前記同期検波手段から出力された検波信号に対して残留搬送波周波数誤差により生じた位相回転を補正する位相回転補正手段とを備えたことを特徴とする。

【 0 0 1 8 】

チャンネル推定手段は、フーリエ変換手段によって分離された各サブキャリア信号を用いてサブキャリア毎にチャンネル特性の推定を行う。同期検波手段は、チャンネル推定手段によって得られた各サブキャリアのチャンネル特性の推定結果を用いてフーリエ変換手段によって分離されたサブキャリア信号に対しサブキャリア毎に等化処理および同期検波処理を行い検波信号を出力する。特定シンボル抽出手段は、同期検波手段によって出力された検波信号から特定の 1 つの OFDM シンボルに含まれる検波信号を抽出し出力する。硬判定手段は、特定シンボル抽出手段によって得られた該 OFDM シンボルに含まれる検波信号を硬判定し判定結果を出力する。位相回転量検出手段は、硬判定手段から出力された硬判定結果を用いて特定シンボル抽出手段から出力された検波信号の残留搬送波周波数誤差に起因する位相回転量をサブキャリア毎に検出する。

【 0 0 1 9 】

重み係数演算手段は、チャンネル推定手段によって得られた各サブキャリアのチャンネル特性の推定結果を用いて各サブキャリア信号の SN 比に応じた重み係数をサブキャリア毎に演算する。重み付け手段は、重み係数演算手段により得られた各サブキャリアの重み係数を用いて位相回転量検出手段によって検出された残留搬送波周波数誤差による各サブキャリアの位相回転量に対しそれぞれ重み付けを行う。平滑化手段は、重み付け手段によって得られた重み付け後の残留搬送波周

波数誤差による各サブキャリアの位相回転量に対し 1 OFDM シンボル内の平滑化処理を行う。

【 0 0 2 0 】

単位量演算手段は、平滑化手段によって得られた平滑化信号を用いて検波信号の残留搬送波周波数誤差に起因する 1 OFDM シンボルあたりの位相回転量を演算する。位相回転量推定手段は、単位量演算手段によって得られた検波信号の残留搬送波周波数誤差に起因する 1 OFDM シンボルあたりの位相回転量を用いて同期検波手段から出力された検波信号の残留搬送波周波数誤差に起因する位相回転量を 1 OFDM シンボル毎に推定する。位相回転補正手段は、位相回転量推定手段によって推定された位相回転量情報を用いて同期検波手段から出力された検波信号に対して残留搬送波周波数誤差により生じた位相回転を補正する。

【 0 0 2 1 】

すなわち、同期処理手段から出力される信号に残留搬送波周波数誤差が存在する場合、同期検波手段から出力される特定の 1 つの OFDM シンボルの各々のサブキャリアの検波信号は、残留搬送波周波数誤差の量に応じた量の位相回転によって、位相平面上の基準信号点からずれた位置に現れる。従って、各検波信号と基準信号点とのずれを調べて位相回転量を検出することによって残留搬送波周波数誤差に起因する位相回転量を検出することができる。なお、基準信号点は、各検波信号を硬判定することにより求めることができる。言い換えれば、1 OFDM シンボルあたりの各検波信号の位相回転量は、残留搬送波周波数誤差の量に比例した同一値となるので、位相回転量から残留搬送波周波数誤差を推定できる。

【 0 0 2 2 】

また、推定した残留搬送波周波数誤差から該 OFDM シンボル以外の OFDM シンボルに含まれる検波信号に対する位相回転量は簡単に求めることができる。さらにまた、無線通信において一般的な周波数選択性フェージング環境下においては、サブキャリア毎に通信品質が異なるため、通信品質が良好なサブキャリアの検波信号から検出した位相回転量信号の重みを大きくした信号を処理することによって、フェージング等の影響を抑制し、残留搬送波周波数誤差の検出精度を改善できる。また、OFDM シンボル内で平滑化した位相回転量信号を処理する

ことによって、熱雑音等の影響を抑制し、残留搬送波周波数誤差の検出精度を改善できる。

【 0 0 2 3 】

本発明の別の特徴は、OFDM信号を受信し受信処理を行う受信手段と、前記受信手段によって受信処理された受信信号に対しタイミング同期処理および搬送波周波数同期処理を行い同期処理後の信号を出力する同期処理手段と、前記同期処理手段によってタイミング同期処理および搬送波周波数同期処理された信号をフーリエ変換を用いてサブキャリア毎の信号に分離するフーリエ変換手段とを備えたOFDM復調装置であって、

前記フーリエ変換手段によって分離された各サブキャリア信号を用いてサブキャリア毎にチャネル特性の推定を行うチャネル推定手段と、前記チャネル推定手段によって得られた各サブキャリアのチャネル特性の推定結果を用いて前記フーリエ変換手段によって分離されたサブキャリア信号に対しサブキャリア毎に等化処理および同期検波処理を行い検波信号を出力する同期検波手段と、前記同期検波手段によって出力された検波信号から特定の1つのOFDMシンボルに含まれる検波ベクトル信号を抽出し出力する特定シンボル抽出手段と、前記特定シンボル抽出手段によって得られた該OFDMシンボルに含まれる検波ベクトル信号を硬判定し判定結果を出力する硬判定手段と、前記特定シンボル抽出手段から出力された検波ベクトル信号に対して前記硬判定手段から出力された硬判定結果に応じて定められる位相回転量を付加することにより逆変調を行い各サブキャリアの逆変調ベクトル信号を出力する逆変調手段と、前記チャネル推定手段によって得られた各サブキャリアのチャネル特性の推定結果を用いて各サブキャリア信号のSN比に応じた重み係数をサブキャリア毎に演算する重み係数演算手段と、前記重み係数演算手段により得られた各サブキャリアの重み係数を用いて前記逆変調手段から出力される各サブキャリアの逆変調ベクトル信号に対しそれぞれ重み付けを行う重み付け手段と、前記重み付け手段によって得られた重み付け後の各サブキャリアの逆変調ベクトル信号のベクトル和を演算することにより該逆変調ベクトル信号の位相成分の平滑化を行うベクトル和演算手段と、前記ベクトル和演算手段によって得られたベクトル和の位相を検出する位相検出手段と、前記位相

検出手段によって得られた位相回転量を用いて検波信号の残留搬送波周波数誤差に起因する 1 OFDM シンボルあたりの位相回転量を演算する単位量演算手段と、前記単位量演算手段によって演算された残留搬送波周波数誤差に起因する 1 OFDM シンボルあたりの位相回転量に基づいて前記同期検波手段から出力された検波信号の残留搬送波周波数誤差に起因する位相回転量を 1 OFDM シンボル毎に推定する位相回転量推定手段と、前記位相回転量推定手段から出力された位相回転量情報を用いて前記同期検波手段から出力された検波信号に対して残留搬送波周波数誤差により生じた位相回転を補正する位相回転補正手段とを備えたことを特徴とする。

【 0 0 2 4 】

チャネル推定手段は、フーリエ変換手段によって分離された各サブキャリア信号を用いてサブキャリア毎にチャネル特性の推定を行う。同期検波手段は、チャネル推定手段によって得られた各サブキャリアのチャネル特性の推定結果を用いてフーリエ変換手段によって分離されたサブキャリア信号に対しサブキャリア毎に等化処理および同期検波処理を行い検波信号を出力する。特定シンボル抽出手段は、同期検波手段によって出力された検波信号から特定の 1 つの OFDM シンボルに含まれる検波ベクトル信号を抽出し出力する。硬判定手段は、特定シンボル抽出手段によって得られた該 OFDM シンボルに含まれる検波ベクトル信号を硬判定し判定結果を出力する。逆変調手段は、特定シンボル抽出手段から出力された検波ベクトル信号に対して硬判定手段から出力された硬判定結果に応じて定められる位相回転量を付加することにより逆変調を行い各サブキャリアの逆変調ベクトル信号を出力する。

【 0 0 2 5 】

重み係数演算手段は、チャネル推定手段によって得られた各サブキャリアのチャネル特性の推定結果を用いて各サブキャリア信号の SN 比に応じた重み係数をサブキャリア毎に演算する。重み付け手段は、重み係数演算手段により得られた各サブキャリアの重み係数を用いて逆変調手段から出力される各サブキャリアの逆変調ベクトル信号に対しそれぞれ重み付けを行う。ベクトル和演算手段は、重み付け手段によって得られた重み付け後の各サブキャリアの逆変調ベクトル信号

のベクトル和を演算することにより該逆変調ベクトル信号の位相成分の平滑化を行う。

【 0 0 2 6 】

位相検出手段は、ベクトル和演算手段によって得られたベクトル和の位相を検出する、単位量演算手段は、位相検出手段によって得られた位相回転量を用いて検波信号の残留搬送波周波数誤差に起因する 1 O F D M シンボルあたりの位相回転量を演算する。位相回転推定手段は、単位量演算手段によって演算された残留搬送波周波数誤差に起因する 1 O F D M シンボルあたりの位相回転量に基づいて同期検波手段から出力された検波信号の残留搬送波周波数誤差に起因する位相回転量を 1 O F D M シンボル毎に推定する。位相回転補正手段は、位相回転量推定手段から出力された位相回転量情報を用いて同期検波手段から出力された検波信号に対して残留搬送波周波数誤差により生じた位相回転を補正する。

【 0 0 2 7 】

すなわち、同期処理手段から出力される信号に残留搬送波周波数誤差が存在する場合、同期検波手段から出力される特定の 1 つの O F D M シンボルの各々のサブキャリアの検波ベクトル信号は、残留搬送波周波数誤差の量に応じた量の位相回転によって、位相平面上の基準信号点ベクトルに位相回転を付加したベクトルとなって現れる。従って、各検波ベクトル信号と基準信号点ベクトルとの位相差を調べることによって位相回転量を検出することができる。なお、基準信号点ベクトルは、各検波信号を硬判定することにより求めることができる。言い換えると、該基準信号点ベクトルに対する該 O F D M シンボルの各検波信号ベクトルの位相回転量は残留搬送波周波数誤差の量に比例した同一値となるので、該位相回転量から残留搬送波周波数誤差を推定できる。

【 0 0 2 8 】

また、推定した残留搬送波周波数誤差から該 O F D M シンボル以外の O F D M シンボルに含まれる検波信号ベクトルに対する位相回転量をそれぞれ求めることができる。さらにまた、無線通信において一般的な周波数選択性フェージング環境下においては、サブキャリア毎に通信品質が異なるため、通信品質が良好なサブキャリアの検波信号から検出した位相回転量信号の重みを大きくしたベクトル

信号を処理することによって、フェージング等の影響を抑制し、残留搬送波周波数誤差の検出精度を改善できる。また、該OFDMシンボル内の各検波ベクトル信号のベクトル和を処理することによって該各検波ベクトル信号の位相成分を平滑化することで、熱雑音等の影響を抑制し、残留搬送波周波数誤差の検出精度を改善できる。

【0029】

好ましくは前記OFDM復調装置であって、

前記逆変調手段は前記特定シンボル抽出手段から出力された特定の1つのOFDMシンボルに含まれる検波ベクトル信号の各要素に対して前記硬判定手段から出力された硬判定結果に応じた符号の反転処理を施すことによる逆変調を行い各サブキャリアの逆変調ベクトル信号を出力する。

【0030】

例えば、BPSKやQPSKのように、ある基準信号点から他の基準信号点への遷移が、符号の反転処理のみによって可能であるような変調方式によって各サブキャリア信号が変調されている場合には、逆変調処理は信号の符号を反転処理することによって実現できるので、逆変調手段の回路構成を単純化することができる。

【0031】

本発明の更に別の特徴は、OFDM信号を受信し受信処理を行う受信手段と、前記受信手段によって受信処理された受信信号に対しタイミング同期処理および搬送波周波数同期処理を行い同期処理後の信号を出力する同期処理手段と、前記同期処理手段によってタイミング同期処理および搬送波周波数同期処理された信号をフーリエ変換を用いてサブキャリア毎の信号に分離するフーリエ変換手段とを備えたOFDM復調装置であって、

前記フーリエ変換手段によって分離された各サブキャリア信号を用いてサブキャリア毎にチャネル特性の推定を行うチャネル推定手段と、前記チャネル推定手段によって得られた各サブキャリアのチャネル特性の推定結果を用いて前記フーリエ変換手段によって分離されたサブキャリア信号に対しサブキャリア毎に等化処理および同期検波処理を行い検波信号を出力する同期検波手段と、前記同期検

波手段によって出力された検波信号から特定の1つのOFDMシンボルに含まれる検波信号を抽出し出力する特定シンボル抽出手段と、前記特定シンボル抽出手段によって得られた該OFDMシンボルに含まれる検波信号を硬判定し判定結果を出力する硬判定手段と、前記硬判定手段から出力された硬判定結果を用いて前記特定シンボル抽出手段から出力された検波信号の残留搬送波周波数誤差に起因する位相回転量をサブキャリア毎に検出する位相回転量検出手段と、前記チャネル推定手段によって得られた各サブキャリアのチャネル特性の推定結果を用いて各サブキャリア信号のSN比に応じた重み係数をサブキャリア毎に演算する重み係数演算手段と、前記重み係数演算手段により得られた各サブキャリアの重み係数を用いて前記位相回転量検出手段によって検出された残留搬送波周波数誤差による各サブキャリアの位相回転量に対しそれぞれ重み付けを行う重み付け手段と、前記重み付け手段によって得られた重み付け後の残留搬送波周波数誤差による各サブキャリアの位相回転量に対し1 OFDMシンボル内の平滑化処理を行う平滑化手段と、前記平滑化手段によって得られた平滑化信号を用いて検波信号の残留搬送波周波数誤差に起因する1 OFDMシンボルあたりの位相回転量を演算する単位量演算手段と、前記同期検波手段によって出力された検波信号からパイロット信号に相当する検波信号を抽出するパイロット信号抽出手段と、前記パイロット信号抽出手段によって抽出されたパイロット信号に相当する各検波信号の位相回転を検出して残留搬送波周波数検出誤差に起因する該検波ベクトル信号の1 OFDMシンボルあたりの位相回転量を検出する残留位相誤差検出手段と、前記単位量演算手段によって演算された残留搬送波周波数誤差に起因する1 OFDMシンボルあたりの位相回転量と前記残留位相誤差検出手段によって得られた1 OFDMシンボルあたりの位相回転量のうち前記同期検波手段から出力された検波信号のOFDMシンボル相当数に応じてどちらか一方を選択して出力する選択手段と、前記選択手段によって選択された位相回転量に基づいて前記同期検波手段から出力された検波信号の残留搬送波周波数誤差に起因する位相回転量を推定する位相回転量推定手段と、前記位相回転量推定手段から出力された位相回転量情報を用いて前記同期検波手段から出力された検波信号に対して残留搬送波周波数誤差により生じた位相回転を補正する位相回転補正手段とを備えたことを特徴と

する。

【 0 0 3 2 】

チャンネル推定手段は、フーリエ変換手段によって分離された各サブキャリア信号を用いてサブキャリア毎にチャンネル特性の推定を行う。同期検波手段は、チャンネル推定手段によって得られた各サブキャリアのチャンネル特性の推定結果を用いてフーリエ変換手段によって分離されたサブキャリア信号に対しサブキャリア毎に等化処理および同期検波処理を行い検波信号を出力する。特定シンボル抽出手段は、同期検波手段によって出力された検波信号から特定の1つのOFDMシンボルに含まれる検波信号を抽出し出力する。硬判定手段は、特定シンボル抽出手段によって得られた該OFDMシンボルに含まれる検波信号を硬判定し判定結果を出力する。位相回転量検出手段は、硬判定手段から出力された硬判定結果を用いて特定シンボル抽出手段から出力された検波信号の残留搬送波周波数誤差に起因する位相回転量をサブキャリア毎に検出する。

【 0 0 3 3 】

重み係数演算手段は、チャンネル推定手段によって得られた各サブキャリアのチャンネル特性の推定結果を用いて各サブキャリア信号のSN比に応じた重み係数をサブキャリア毎に演算する。重み付け手段は、重み係数演算手段により得られた各サブキャリアの重み係数を用いて位相回転量検出手段によって検出された残留搬送波周波数誤差による各サブキャリアの位相回転量に対しそれぞれ重み付けを行う。平滑化手段は、重み付け手段によって得られた重み付け後の残留搬送波周波数誤差による各サブキャリアの位相回転量に対し1 OFDMシンボル内の平滑化処理を行う。単位量演算手段は、平滑化手段によって得られた平滑化信号を用いて検波信号の残留搬送波周波数誤差に起因する1 OFDMシンボルあたりの位相回転量を演算する。パイロット信号抽出手段は、同期検波手段によって出力された検波信号からパイロット信号に相当する検波信号を抽出する。残留位相誤差検出手段は、パイロット信号抽出手段によって抽出されたパイロット信号に相当する各検波信号の位相回転を検出して残留搬送波周波数検出誤差に起因する該検波ベクトル信号の1 OFDMシンボルあたりの位相回転量を検出する。

【 0 0 3 4 】

選択手段は、単位量演算手段によって演算された残留搬送波周波数誤差に起因する 1 OFDM シンボル当たりの位相回転量と残留位相誤差検出手段によって得られた 1 OFDM シンボル当たりの位相回転量のうち同期検波手段から出力された検波信号の OFDM シンボル相当数に応じてどちらか一方を選択して出力する。位相回転推定手段は、選択手段によって選択された位相回転量に基づいて同期検波手段から出力された検波信号の残留搬送波周波数誤差に起因する位相回転量を推定する。位相回転補正手段は、位相回転量推定手段から出力された位相回転量情報を用いて同期検波手段から出力された検波信号に対して残留搬送波周波数誤差により生じた位相回転を補正する。

【 0 0 3 5 】

すなわち、同期処理手段から出力される信号に残留搬送波周波数誤差が存在する場合、同期検波手段から出力される特定の 1 つの OFDM シンボルの各々のサブキャリアの検波信号は、残留搬送波周波数誤差の量に応じた量の位相回転によって、位相平面上の基準信号点からずれた位置に現れる。従って、各検波信号と基準信号点とのずれを調べて位相回転量を検出することによって残留搬送波周波数誤差に起因する位相回転量を検出することができる。なお、基準信号点は、各検波信号を硬判定することにより求めることができる。言い換えれば、1 OFDM シンボル当たりの各検波信号の位相回転量は、残留搬送波周波数誤差の量に比例した同一値となるので、位相回転量から残留搬送波周波数誤差を推定できる。

【 0 0 3 6 】

また、推定した残留搬送波周波数誤差から該 OFDM シンボル以外の OFDM シンボルに含まれる検波信号に対する位相回転量は簡単に求めることができる。さらにまた、無線通信において一般的な周波数選択性フェージング環境下においては、サブキャリア毎に通信品質が異なるため、通信品質が良好なサブキャリアの検波信号から検出した位相回転量信号の重みを大きくした信号を処理することによって、フェージング等の影響を抑制し、残留搬送波周波数誤差の検出精度を改善できる。また、OFDM シンボル内で平滑化した位相回転量信号を処理することによって、熱雑音等の影響を抑制し、残留搬送波周波数誤差の検出精度を改善できる。しかしながら、上述のように残留搬送波周波数誤差に起因する位相回

転量を、同期検波手段から出力される特定の1つのOFDMシンボルのみから検出するだけでは、一定以上の検出精度を得ることができない。

【0037】

一方、上述のような特定の1つのシンボルからだけでなく、各OFDMシンボルに含まれる既知のパイロット信号の位相回転量をOFDMシンボル毎に検出し、十分に多数のパイロット信号から残留搬送波周波数誤差に起因する1OFDMシンボルあたりの位相回転量の平均値を求めることによって、残留搬送波周波数誤差の検出精度を高めることができる。ただし、高い検出精度を得るためには非常に多くのパイロット信号を処理する必要があり、原理上、パケットの先頭付近のOFDMシンボルを処理している期間は一定以上の検出精度を得ることができない。特に、1つのOFDMシンボルに含まれるパイロット信号の数はサブキャリア数に比較して非常に少ないため、パケットの先頭付近のいくつかのOFDMシンボルのパイロット信号のみを用いて検出した残留搬送波周波数誤差の検出精度は、前述の特定の1つのOFDMシンボルに含まれるすべてのサブキャリアの検波信号を用いて検出した残留搬送波周波数誤差の検出精度よりも悪くなってしまう。

【0038】

そこで、パケットの先頭付近のOFDMシンボルに含まれる残留搬送波周波数誤差に起因する位相回転については、前述のような特定の1つのOFDMシンボル内のすべてのサブキャリアの検波信号を用いて検出した位相補正量によって補正を行い、後続のOFDMシンボルに含まれる位相回転については、前述のような各OFDMシンボルに含まれる既知のパイロット信号の位相回転量をOFDMシンボル毎に検出して得られる位相補正量を用いて補正を行うことにより、パケット全体に渡って精度の高い位相補正を行うことができる。

【0039】

本発明の更に別の特徴は、OFDM信号を受信し受信処理を行う受信手段と、前記受信手段によって受信処理された受信信号に対しタイミング同期処理および搬送波周波数同期処理を行い同期処理後の信号を出力する同期処理手段と、前記同期処理手段によってタイミング同期処理および搬送波周波数同期処理された信

号をフーリエ変換を用いてサブキャリア毎の信号に分離するフーリエ変換手段とを備えたOFDM復調装置であって、

前記フーリエ変換手段によって分離された各サブキャリア信号を用いてサブキャリア毎にチャネル特性の推定を行うチャネル推定手段と、前記チャネル推定手段によって得られた各サブキャリアのチャネル特性の推定結果を用いて前記フーリエ変換手段によって分離されたサブキャリア信号に対しサブキャリア毎に等化处理および同期検波処理を行い検波信号を出力する同期検波手段と、前記同期検波手段によって出力された検波信号から特定の1つのOFDMシンボルに含まれる検波ベクトル信号を抽出し出力する特定シンボル抽出手段と、前記特定シンボル抽出手段によって得られた該OFDMシンボルに含まれる検波ベクトル信号を硬判定し判定結果を出力する硬判定手段と、前記特定シンボル抽出手段から出力された検波ベクトル信号に対して前記硬判定手段から出力された硬判定結果に応じて定められる位相回転量を付加することにより逆変調を行い各サブキャリアの逆変調ベクトル信号を出力する逆変調手段と、前記チャネル推定手段によって得られた各サブキャリアのチャネル特性の推定結果を用いて各サブキャリア信号のSN比に応じた重み係数をサブキャリア毎に演算する重み係数演算手段と、前記重み係数演算手段により得られた各サブキャリアの重み係数を用いて前記逆変調手段から出力される各サブキャリアの逆変調ベクトル信号に対しそれぞれ重み付けを行う重み付け手段と、前記重み付け手段によって得られた重み付け後の各サブキャリアの逆変調ベクトル信号のベクトル和を演算することにより該逆変調ベクトル信号の位相成分の平滑化を行うベクトル和演算手段と、前記ベクトル和演算手段によって得られたベクトル和の位相を検出する位相検出手段と、前記位相検出手段によって得られた位相回転量を用いて検波信号の残留搬送波周波数誤差に起因する1 OFDMシンボルあたりの位相回転量を演算する単位量演算手段と、前記同期検波手段によって出力された検波信号からパイロット信号に相当する検波ベクトル信号を抽出するパイロット信号抽出手段と、前記パイロット信号抽出手段によって抽出されたパイロット信号に相当する各検波ベクトル信号の位相回転を検出して残留搬送波周波数検出誤差に起因する該検波ベクトル信号の1 OFDMシンボルあたりの位相回転量を検出する残留位相誤差検出手段と、前記単

位量演算手段によって演算された残留搬送波周波数誤差に起因する 1 OF DM シンボル当たりの位相回転量と前記残留位相誤差検出手段によって得られた 1 OF DM シンボルあたりの位相回転量のうち前記同期検波手段から出力された検波信号の OF DM シンボル相当数に応じてどちらか一方を選択して出力する選択手段と、前記選択手段によって選択された位相回転量に基づいて前記同期検波手段から出力された検波信号の残留搬送波周波数誤差に起因する位相回転量を推定する位相回転量推定手段と、前記位相回転量推定手段から出力された位相回転量情報を用いて前記同期検波手段から出力された検波信号に対して残留搬送波周波数誤差により生じた位相回転を補正する位相回転補正手段とを備えたことを特徴とする。

【 0 0 4 0 】

チャネル推定手段は、フーリエ変換手段によって分離された各サブキャリア信号を用いてサブキャリア毎にチャネル特性の推定を行う。同期検波手段は、チャネル推定手段によって得られた各サブキャリアのチャネル特性の推定結果を用いてフーリエ変換手段によって分離されたサブキャリア信号に対しサブキャリア毎に等化处理および同期検波処理を行い検波信号を出力する。特定シンボル抽出手段は、同期検波手段によって出力された検波信号から特定の 1 つの OF DM シンボルに含まれる検波ベクトル信号を抽出し出力する。硬判定手段は、特定シンボル抽出手段によって得られた該 OF DM シンボルに含まれる検波ベクトル信号を硬判定し判定結果を出力する。逆変調手段は、特定シンボル抽出手段から出力された検波ベクトル信号に対して硬判定手段から出力された硬判定結果に応じて定められる位相回転量を付加することにより逆変調を行い各サブキャリアの逆変調ベクトル信号を出力する。

【 0 0 4 1 】

重み係数演算手段は、チャネル推定手段によって得られた各サブキャリアのチャネル特性の推定結果を用いて各サブキャリア信号の SN 比に応じた重み係数をサブキャリア毎に演算する。重み付け手段は、重み係数演算手段により得られた各サブキャリアの重み係数を用いて逆変調手段から出力される各サブキャリアの逆変調ベクトル信号に対しそれぞれ重み付けを行う。ベクトル和演算手段は、重

み付け手段によって得られた重み付け後の各サブキャリアの逆変調ベクトル信号のベクトル和を演算することにより該逆変調ベクトル信号の位相成分の平滑化を行う。位相検出手段は、ベクトル和演算手段によって得られたベクトル和の位相を検出する。単位量演算手段は、位相検出手段によって得られた位相回転量を用いて検波信号の残留搬送波周波数誤差に起因する1 OFDMシンボルあたりの位相回転量を演算する。

【0042】

パイロット信号抽出手段は、同期検波手段によって出力された検波信号からパイロット信号に相当する検波ベクトル信号を抽出する。残留位相誤差検出手段は、パイロット信号抽出手段によって抽出されたパイロット信号に相当する各検波ベクトル信号の位相回転を検出して残留搬送波周波数検出誤差に起因する該検波ベクトル信号の1 OFDMシンボルあたりの位相回転量を検出する。選択手段は、単位量演算手段によって演算された残留搬送波周波数誤差に起因する1 OFDMシンボルあたりの位相回転量と残留位相誤差検出手段によって得られた1 OFDMシンボルあたりの位相回転量のうち同期検波手段から出力された検波信号のOFDMシンボル相当数に応じてどちらか一方を選択して出力する。位相回転推定手段は、選択手段によって選択された位相回転量に基づいて同期検波手段から出力された検波信号の残留搬送波周波数誤差に起因する位相回転量を推定する。位相回転補正手段は、位相回転量推定手段から出力された位相回転量情報を用いて同期検波手段から出力された検波信号に対して残留搬送波周波数誤差により生じた位相回転を補正する。

【0043】

すなわち、同期処理手段から出力される信号に残留搬送波周波数誤差が存在する場合、同期検波手段から出力される特定の1つのOFDMシンボルの各々のサブキャリアの検波ベクトル信号は、残留搬送波周波数誤差の量に応じた量の位相回転によって、位相平面上の基準信号点ベクトルに位相回転を付加したベクトルとなって現れる。従って、各検波ベクトル信号と基準信号点ベクトルとの位相差を調べることによって位相回転量を検出することができる。なお、基準信号点ベクトルは、各検波信号を硬判定することにより求めることができる。言い換える

と、該基準信号点ベクトルに対する該 OFDM シンボルの各検波信号ベクトルの位相回転量は残留搬送波周波数誤差の量に比例した同一値となるので、該位相回転量から残留搬送波周波数誤差を推定できる。

【 0 0 4 4 】

また、推定した残留搬送波周波数誤差から該 OFDM シンボル以外の OFDM シンボルに含まれる検波信号ベクトルに対する位相回転量をそれぞれ求めることができる。さらにまた、無線通信において一般的な周波数選択性フェージング環境下においては、サブキャリア毎に通信品質が異なるため、通信品質が良好なサブキャリアの検波信号から検出した位相回転量信号の重みを大きくしたベクトル信号を処理することによって、フェージング等の影響を抑制し、残留搬送波周波数誤差の検出精度を改善できる。また、該 OFDM シンボル内の各検波ベクトル信号のベクトル和を処理することによって該各検波ベクトル信号の位相成分を平滑化することで、熱雑音等の影響を抑制し、残留搬送波周波数誤差の検出精度を改善できる。しかしながら、上述のように残留搬送波周波数誤差に起因する位相回転量を、同期検波手段から出力される特定の 1 つの OFDM シンボルのみから検出するだけでは、一定以上の検出精度を得ることができない。

【 0 0 4 5 】

一方、上述のような特定の 1 つのシンボルからだけでなく、各 OFDM シンボルに含まれる既知のパイロット信号の位相回転量を OFDM シンボル毎に検出し、十分に多数のパイロット信号から残留搬送波周波数誤差に起因する 1 OFDM シンボルあたりの位相回転量の平均値を求めることによって、残留搬送波周波数誤差の検出精度を高めることができる。ただし、高い検出精度を得るためには非常に多くのパイロット信号を処理する必要があり、原理上、パケットの先頭付近の OFDM シンボルを処理している期間は一定以上の検出精度を得ることができない。特に、1 つの OFDM シンボルに含まれるパイロット信号の数はサブキャリア数に比較して非常に少ないため、パケットの先頭付近のいくつかの OFDM シンボルのパイロット信号のみを用いて検出した残留搬送波周波数誤差の検出精度は、前述の特定の 1 つの OFDM シンボルに含まれるすべてのサブキャリアの検波信号を用いて検出した残留搬送波周波数誤差の検出精度よりも悪くなってし

まう。

【 0 0 4 6 】

そこで、パケットの先頭付近の OFDM シンボルに含まれる残留搬送波周波数誤差に起因する位相回転については、前述のような特定の 1 つの OFDM シンボル内のすべてのサブキャリアの検波信号を用いて検出した位相補正量によって補正を行い、後続の OFDM シンボルに含まれる位相回転については、前述のような各 OFDM シンボルに含まれる既知のパイロット信号の位相回転量を OFDM シンボル毎に検出して得られる位相補正量を用いて補正を行うことにより、パケット全体に渡って精度の高い位相補正を行うことができる。

【 0 0 4 7 】

好ましくは前記 OFDM 復調装置であって、

前記逆変調手段は前記特定シンボル抽出手段から出力された特定の 1 つの OFDM シンボルに含まれる検波ベクトル信号の各要素に対して前記硬判定手段から出力された硬判定結果に応じた符号の反転処理を施すことによる逆変調を行い各サブキャリアの逆変調ベクトル信号を出力する。

【 0 0 4 8 】

例えば、BPSK や QPSK のように、ある基準信号点から他の基準信号点への遷移が、符号の反転処理のみによって可能であるような変調方式によって各サブキャリア信号が変調されている場合には、逆変調処理は信号の符号を反転処理することによって実現できるので、逆変調手段の回路構成を単純化することができる。

【 0 0 4 9 】

本発明の更に別の特徴は、OFDM 信号を受信し受信処理を行う受信手段と、前記受信手段によって受信処理された受信信号に対しタイミング同期処理および搬送波周波数同期処理を行い同期処理後の信号を出力する同期処理手段と、前記同期処理手段によってタイミング同期処理および搬送波周波数同期処理された信号をフーリエ変換を用いてサブキャリア毎の信号に分離するフーリエ変換手段とを備えた OFDM 復調装置であって、

前記フーリエ変換手段によって分離された各サブキャリア信号を用いてサブキ

キャリア毎にチャネル特性の推定を行うチャネル推定手段と、前記チャネル推定手段によって得られた各サブキャリアのチャネル特性の推定結果を用いて前記フーリエ変換手段によって分離されたサブキャリア信号に対しサブキャリア毎に等化处理および同期検波処理を行い検波信号を出力する同期検波手段と、前記同期検波手段によって出力された検波信号から特定の 1 つの OFDM シンボルに含まれる検波信号を抽出し出力する特定シンボル抽出手段と、前記特定シンボル抽出手段によって得られた該 OFDM シンボルに含まれる検波信号を硬判定し判定結果を出力する硬判定手段と、前記硬判定手段から出力された硬判定結果を用いて前記特定シンボル抽出手段から出力された検波信号の残留搬送波周波数誤差に起因する位相回転量をサブキャリア毎に検出する第一の位相回転量検出手段と、前記チャネル推定手段によって得られた各サブキャリアのチャネル特性の推定結果を用いて各サブキャリア信号の SN 比に応じた重み係数をサブキャリア毎に演算する重み係数演算手段と、前記重み係数演算手段により得られた各サブキャリアの重み係数を用いて前記第一の位相回転量検出手段によって検出された残留搬送波周波数誤差による各サブキャリアの位相回転量に対しそれぞれ重み付けを行う第一の重み付け手段と、前記第一の重み付け手段によって得られた重み付け後の残留搬送波周波数誤差による各サブキャリアの位相回転量に対し 1 OFDM シンボル内の平滑化処理を行う第一の平滑化手段と、前記第一の平滑化手段によって得られた平滑化信号を用いて検波信号の残留搬送波周波数誤差に起因する 1 OFDM シンボルあたりの位相回転量を演算する単位量演算手段と、前記同期検波手段によって出力された検波信号からパイロット信号に相当する検波ベクトル信号を抽出するパイロット信号抽出手段と、前記重み係数演算手段により得られた各サブキャリアの重み係数を用いて前記パイロット信号抽出手段によって抽出されたパイロット信号に相当する各検波ベクトル信号に対しそれぞれ重み付けを行う第二の重み付け手段と、前記第二の重み付け手段によって得られた重み付け後の各検波ベクトル信号のベクトル和を演算することにより該検波ベクトル信号の位相成分の平滑化を行うベクトル和演算手段と、前記ベクトル和演算手段によって得られたベクトル和を 1 OFDM シンボルの期間だけ遅延させる遅延手段と、前記遅延手段によって 1 OFDM シンボルの期間だけ遅延したベクトル和に対する前

記ベクトル和演算手段によって得られたベクトル和の位相回転量を検出する第二の位相回転量検出手段と、前記第二の位相回転量検出手段によって検出された位相回転量を1 OFDMシンボル毎に積分処理して該位相回転量の積分値を出力する積分手段と、前記積分手段によって積分された位相回転量の積分値を複数 OFDMシンボルに渡って時間方向に平滑化を行う第二の平滑化手段と、前記第二の平滑化手段によって平滑化された位相回転量の積分値を前記積分手段によって積分された OFDMシンボル数と前記第二の平滑化手段によって平滑化された OFDMシンボル数に応じた数を用いて除算を行い1 OFDMシンボルあたりの平均の位相回転量を出力する除算手段と、前記単位量演算手段によって演算された残留搬送波周波数誤差に起因する1 OFDMシンボルあたりの位相回転量と前記除算手段によって得られた1 OFDMシンボルあたりの平均の位相回転量のうち前記積分手段によって積分された OFDMシンボル数に応じてどちらか一方を選択して出力する選択手段と、前記選択手段によって選択された位相回転量に基づいて前記同期検波手段から出力された検波信号の残留搬送波周波数誤差に起因する位相回転量を推定する位相回転量推定手段と、前記位相回転量推定手段から出力された位相回転量情報を用いて前記同期検波手段から出力された検波信号に対して残留搬送波周波数誤差により生じた位相回転を補正する位相回転補正手段とを備えたことを特徴とする。

【0050】

チャネル推定手段は、フーリエ変換手段によって分離された各サブキャリア信号を用いてサブキャリア毎にチャネル特性の推定を行う。同期検波手段は、チャネル推定手段によって得られた各サブキャリアのチャネル特性の推定結果を用いてフーリエ変換手段によって分離されたサブキャリア信号に対しサブキャリア毎に等化处理および同期検波処理を行い検波信号を出力する。特定シンボル抽出手段は、同期検波手段によって出力された検波信号から特定の1つの OFDMシンボルに含まれる検波信号を抽出し出力する。硬判定手段は、特定シンボル抽出手段によって得られた該 OFDMシンボルに含まれる検波信号を硬判定し判定結果を出力する。第一の位相回転量検出手段は、硬判定手段から出力された硬判定結果を用いて特定シンボル抽出手段から出力された検波信号の残留搬送波周波数誤

差に起因する位相回転量をサブキャリア毎に検出する。

【 0 0 5 1 】

重み係数演算手段は、チャネル推定手段によって得られた各サブキャリアのチャネル特性の推定結果を用いて各サブキャリア信号の S N 比に応じた重み係数をサブキャリア毎に演算する。第一の重み付け手段は、重み係数演算手段により得られた各サブキャリアの重み係数を用いて第一の位相回転量検出手段によって検出された残留搬送波周波数誤差による各サブキャリアの位相回転量に対しそれぞれ重み付けを行う。第一の平滑化手段は、第一の重み付け手段によって得られた重み付け後の残留搬送波周波数誤差による各サブキャリアの位相回転量に対し 1 O F D M シンボル内の平滑化処理を行う。単位量演算手段は、第一の平滑化手段によって得られた平滑化信号を用いて検波信号の残留搬送波周波数誤差に起因する 1 O F D M シンボルあたりの位相回転量を演算する。

【 0 0 5 2 】

パイロット信号抽出手段は、同期検波手段によって出力された検波信号からパイロット信号に相当する検波ベクトル信号を抽出する。第二の重み付け手段は、重み係数演算手段により得られた各サブキャリアの重み係数を用いてパイロット信号抽出手段によって抽出されたパイロット信号に相当する各検波ベクトル信号に対しそれぞれ重み付けを行う。ベクトル和演算手段は、第二の重み付け手段によって得られた重み付け後の各検波ベクトル信号のベクトル和を演算することにより該検波ベクトル信号の位相成分の平滑化を行う。

【 0 0 5 3 】

遅延手段は、ベクトル和演算手段によって得られたベクトル和を 1 O F D M シンボルの期間だけ遅延させる。第二の位相回転量検出手段は、遅延手段によって 1 O F D M シンボルの期間だけ遅延したベクトル和に対するベクトル和演算手段によって得られたベクトル和の位相回転量を検出する。積分手段は、第二の位相回転量検出手段によって検出された位相回転量を 1 O F D M シンボル毎に積分処理して該位相回転量の積分値を出力する。第二の平滑化手段は、積分手段によって積分された位相回転量の積分値を複数 O F D M シンボルに渡って時間方向に平滑化を行う。除算手段は、第二の平滑化手段によって平滑化された位相回転量の

積分値を積分手段によって積分されたOFDMシンボル数と第二の平滑化手段によって平滑化されたOFDMシンボル数に応じた数を用いて除算を行い1OFDMシンボルあたりの平均の位相回転量を出力する。

【0054】

選択手段は、単位量演算手段によって演算された残留搬送波周波数誤差に起因する1OFDMシンボルあたりの位相回転量と除算手段によって得られた1OFDMシンボルあたりの平均の位相回転量のうち積分手段によって積分されたOFDMシンボル数に応じてどちらか一方を選択して出力する。位相回転量推定手段は、選択手段によって選択された位相回転量に基づいて同期検波手段から出力された検波信号の残留搬送波周波数誤差に起因する位相回転量を推定する。位相回転補正手段は、位相回転量推定手段から出力された位相回転量情報を用いて同期検波手段から出力された検波信号に対して残留搬送波周波数誤差により生じた位相回転を補正する。

【0055】

すなわち、同期処理手段から出力される信号に残留搬送波周波数誤差が存在する場合、同期検波手段から出力される特定の1つのOFDMシンボルの各々のサブキャリアの検波信号は、残留搬送波周波数誤差の量に応じた量の位相回転によって、位相平面上の基準信号点からずれた位置に現れる。従って、各検波信号と基準信号点とのずれを調べて位相回転量を検出することによって残留搬送波周波数誤差に起因する位相回転量を検出することができる。なお、基準信号点は、各検波信号を硬判定することにより求めることができる。言い換えれば、1OFDMシンボルあたりの各検波信号の位相回転量は、残留搬送波周波数誤差の量に比例した同一値となるので、位相回転量から残留搬送波周波数誤差を推定できる。

【0056】

また、推定した残留搬送波周波数誤差から該OFDMシンボル以外のOFDMシンボルに含まれる検波信号に対する位相回転量は簡単に求めることができる。さらにまた、無線通信において一般的な周波数選択性フェージング環境下においては、サブキャリア毎に通信品質が異なるため、通信品質が良好なサブキャリアの検波信号から検出した位相回転量信号の重みを大きくした信号を処理すること

によって、フェージング等の影響を抑制し、残留搬送波周波数誤差の検出精度を改善できる。また、OFDMシンボル内で平滑化した位相回転量信号を処理することによって、熱雑音等の影響を抑制し、残留搬送波周波数誤差の検出精度を改善できる。しかしながら、上述のように残留搬送波周波数誤差に起因する位相回転量を、同期検波手段から出力される特定の1つのOFDMシンボルのみから検出するだけでは、一定以上の検出精度を得ることができない。

【0057】

一方、上述のような特定の1つのシンボルからだけでなく、各OFDMシンボルに含まれる既知のパイロット信号の位相回転量をOFDMシンボル毎に検出し、十分に多数のパイロット信号から残留搬送波周波数誤差に起因する1OFDMシンボルあたりの位相回転量の平均値を求めることによって、残留搬送波周波数誤差の検出精度を高めることができる。各OFDMシンボルに含まれるパイロット信号の1OFDMシンボルあたりの平均の位相回転量は、当該OFDMシンボルに含まれる各パイロット信号ベクトルのベクトル和とその1シンボル前のOFDMシンボルに含まれる各パイロット信号ベクトルのベクトル和に対する位相差を積分した後に積分を行ったシンボル数で除算することにより、精度良く求めることができる。

【0058】

また、無線通信において一般的な周波数選択性フェージング環境下においては、サブキャリア毎に通信品質が異なるため、各OFDMシンボルに含まれる各パイロット信号ベクトルのベクトル和を演算する前に、通信品質が良好なパイロット信号ベクトルの重みを大きくしたベクトル信号を処理することによって、フェージング等の影響を抑制し、残留搬送波周波数誤差の検出精度を改善できる。ただし、高い検出精度を得るためには非常に多くのパイロット信号を処理する必要があり、原理上、パケットの先頭付近のOFDMシンボルを処理している期間は一定以上の検出精度を得ることができない。特に、1つのOFDMシンボルに含まれるパイロット信号の数はサブキャリア数に比較して非常に少ないため、パケットの先頭付近のいくつかのOFDMシンボルのパイロット信号のみを用いて検出した残留搬送波周波数誤差の検出精度は、前述の特定の1つのOFDMシンボ

ルに含まれるすべてのサブキャリアの検波信号を用いて検出した残留搬送波周波数誤差の検出精度よりも悪くなってしまう。

【0059】

そこで、パケットの先頭付近のOFDMシンボルに含まれる残留搬送波周波数誤差に起因する位相回転については、前述のような特定の1つのOFDMシンボル内のすべてのサブキャリアの検波信号を用いて検出した位相補正量によって補正を行い、後続のOFDMシンボルに含まれる位相回転については、前述のような各OFDMシンボルに含まれる既知のパイロット信号の位相回転量をOFDMシンボル毎に検出して得られる位相補正量を用いて補正を行うことにより、パケット全体に渡って精度の高い位相補正を行うことができる。

【0060】

本発明の更に別の特徴は、OFDM信号を受信し受信処理を行う受信手段と、前記受信手段によって受信処理された受信信号に対しタイミング同期処理および搬送波周波数同期処理を行い同期処理後の信号を出力する同期処理手段と、前記同期処理手段によってタイミング同期処理および搬送波周波数同期処理された信号をフーリエ変換を用いてサブキャリア毎の信号に分離するフーリエ変換手段とを備えたOFDM復調装置であって、

前記フーリエ変換手段によって分離された各サブキャリア信号を用いてサブキャリア毎にチャネル特性の推定を行うチャネル推定手段と、前記チャネル推定手段によって得られた各サブキャリアのチャネル特性の推定結果を用いて前記フーリエ変換手段によって分離されたサブキャリア信号に対しサブキャリア毎に等化処理および同期検波処理を行い検波信号を出力する同期検波手段と、前記同期検波手段によって出力された検波信号から特定の1つのOFDMシンボルに含まれる検波ベクトル信号を抽出し出力する特定シンボル抽出手段と、前記特定シンボル抽出手段によって得られた該OFDMシンボルに含まれる検波ベクトル信号を硬判定し判定結果を出力する硬判定手段と、前記特定シンボル抽出手段から出力された検波ベクトル信号に対して前記硬判定手段から出力された硬判定結果に応じて定められる位相回転量を付加することにより逆変調を行い各サブキャリアの逆変調ベクトル信号を出力する逆変調手段と、前記チャネル推定手段によって得

られた各サブキャリアのチャネル特性の推定結果を用いて各サブキャリア信号の SN 比に応じた重み係数をサブキャリア毎に演算する重み係数演算手段と、前記重み係数演算手段により得られた各サブキャリアの重み係数を用いて前記逆変調手段から出力される各サブキャリアの逆変調ベクトル信号に対しそれぞれ重み付けを行う第一の重み付け手段と、前記第一の重み付け手段によって得られた重み付け後の各サブキャリアの逆変調ベクトル信号のベクトル和を演算することにより該逆変調ベクトル信号の位相成分の平滑化を行う第一のベクトル和演算手段と、前記第一のベクトル和演算手段によって得られたベクトル和の位相を検出する位相検出手段と、前記位相検出手段によって得られた位相回転量を用いて検波信号の残留搬送波周波数誤差に起因する 1 OFDM シンボルあたりの位相回転量を演算する単位量演算手段と、前記同期検波手段によって出力された検波信号からパイロット信号に相当する検波ベクトル信号を抽出するパイロット信号抽出手段と、前記重み係数演算手段により得られた各サブキャリアの重み係数を用いて前記パイロット信号抽出手段によって抽出されたパイロット信号に相当する各検波ベクトル信号に対しそれぞれ重み付けを行う第二の重み付け手段と、前記第二の重み付け手段によって得られた重み付け後の各検波ベクトル信号のベクトル和を演算することにより該検波ベクトル信号の位相成分の平滑化を行う第二のベクトル和演算手段と、前記第二のベクトル和演算手段によって得られたベクトル和を 1 OFDM シンボルの期間だけ遅延させる遅延手段と、前記遅延手段によって 1 OFDM シンボルの期間だけ遅延したベクトル和に対する前記第二のベクトル和演算手段によって得られたベクトル和の位相回転量を検出する位相回転量検出手段と、前記位相回転量検出手段によって検出された位相回転量を 1 OFDM シンボル毎に積分処理して該位相回転量の積分値を出力する積分手段と、前記積分手段によって積分された位相回転量の積分値を複数 OFDM シンボルに渡って時間方向に平滑化を行う平滑化手段と、前記平滑化手段によって平滑化された位相回転量の積分値を前記積分手段によって積分された OFDM シンボル数と前記平滑化手段によって平滑化された OFDM シンボル数に応じた数を用いて除算を行い 1 OFDM シンボルあたりの平均の位相回転量を出力する除算手段と、前記単位量演算手段によって演算された残留搬送波周波数誤差に起因する 1 OFDM シン

ボル当たりの位相回転量と前記除算手段によって得られた1 OFDMシンボルあたりの平均の位相回転量のうち前記積分手段によって積分されたOFDMシンボル数に応じてどちらか一方を選択して出力する選択手段と、前記選択手段によって選択された位相回転量に基づいて前記同期検波手段から出力された検波信号の残留搬送波周波数誤差に起因する位相回転量を推定する位相回転量推定手段と、前記位相回転量推定手段から出力された位相回転量情報を用いて前記同期検波手段から出力された検波信号に対して残留搬送波周波数誤差により生じた位相回転を補正する位相回転補正手段とを備えたことを特徴とする。

【0061】

チャネル推定手段は、フーリエ変換手段によって分離された各サブキャリア信号を用いてサブキャリア毎にチャネル特性の推定を行う。同期検波手段は、チャネル推定手段によって得られた各サブキャリアのチャネル特性の推定結果を用いてフーリエ変換手段によって分離されたサブキャリア信号に対しサブキャリア毎に等化処理および同期検波処理を行い検波信号を出力する。特定シンボル抽出手段は、同期検波手段によって出力された検波信号から特定の1つのOFDMシンボルに含まれる検波ベクトル信号を抽出し出力する。硬判定手段は、特定シンボル抽出手段によって得られた該OFDMシンボルに含まれる検波ベクトル信号を硬判定し判定結果を出力する。逆変調手段は、特定シンボル抽出手段から出力された検波ベクトル信号に対して硬判定手段から出力された硬判定結果に応じて定められる位相回転量を付加することにより逆変調を行い各サブキャリアの逆変調ベクトル信号を出力する。

【0062】

重み係数演算手段は、チャネル推定手段によって得られた各サブキャリアのチャネル特性の推定結果を用いて各サブキャリア信号のSN比に応じた重み係数をサブキャリア毎に演算する。第一の重み付け手段は、重み係数演算手段により得られた各サブキャリアの重み係数を用いて逆変調手段から出力される各サブキャリアの逆変調ベクトル信号に対しそれぞれ重み付けを行う。第一のベクトル和演算手段は、第一の重み付け手段によって得られた重み付け後の各サブキャリアの逆変調ベクトル信号のベクトル和を演算することにより該逆変調ベクトル信号の

位相成分の平滑化を行う。位相検出手段は、第一のベクトル和演算手段によって得られたベクトル和の位相を検出する。単位量演算手段は、位相検出手段によって得られた位相回転量を用いて検波信号の残留搬送波周波数誤差に起因する 1 OFDM シンボルあたりの位相回転量を演算する。

【 0 0 6 3 】

パイロット信号抽出手段は、同期検波手段によって出力された検波信号からパイロット信号に相当する検波ベクトル信号を抽出する。第二の重み付け手段は、重み係数演算手段により得られた各サブキャリアの重み係数を用いてパイロット信号抽出手段によって抽出されたパイロット信号に相当する各検波ベクトル信号に対しそれぞれ重み付けを行う。第二のベクトル和演算手段は、第二の重み付け手段によって得られた重み付け後の各検波ベクトル信号のベクトル和を演算することにより該検波ベクトル信号の位相成分の平滑化を行う。

【 0 0 6 4 】

遅延手段は、第二のベクトル和演算手段によって得られたベクトル和を 1 OFDM シンボルの期間だけ遅延させる。位相回転量検出手段は、遅延手段によって 1 OFDM シンボルの期間だけ遅延したベクトル和に対する第二のベクトル和演算手段によって得られたベクトル和の位相回転量を検出する。積分手段は、位相回転量検出手段によって検出された位相回転量を 1 OFDM シンボル毎に積分処理して該位相回転量の積分値を出力する。平滑化手段は、積分手段によって積分された位相回転量の積分値を複数 OFDM シンボルに渡って時間方向に平滑化を行う。除算手段は、平滑化手段によって平滑化された位相回転量の積分値を積分手段によって積分された OFDM シンボル数と平滑化手段によって平滑化された OFDM シンボル数に応じた数を用いて除算を行い 1 OFDM シンボルあたりの平均の位相回転量を出力する。

【 0 0 6 5 】

選択手段は、単位量演算手段によって演算された残留搬送波周波数誤差に起因する 1 OFDM シンボルあたりの位相回転量と前記除算手段によって得られた 1 OFDM シンボルあたりの平均の位相回転量のうち前記積分手段によって積分された OFDM シンボル数に応じてどちらか一方を選択して出力する。位相回転量

推定手段は、選択手段によって選択された位相回転量に基づいて同期検波手段から出力された検波信号の残留搬送波周波数誤差に起因する位相回転量を推定する。位相回転補正手段は、位相回転量推定手段から出力された位相回転量情報を用いて同期検波手段から出力された検波信号に対して残留搬送波周波数誤差により生じた位相回転を補正する。

【 0 0 6 6 】

すなわち、同期処理手段から出力される信号に残留搬送波周波数誤差が存在する場合、同期検波手段から出力される特定の1つのOFDMシンボルの各々のサブキャリアの検波ベクトル信号は、残留搬送波周波数誤差の量に応じた量の位相回転によって、位相平面上の基準信号点ベクトルに位相回転を付加したベクトルとなって現れる。従って、各検波ベクトル信号と基準信号点ベクトルとの位相差を調べることによって位相回転量を検出することができる。なお、基準信号点ベクトルは、各検波信号を硬判定することにより求めることができる。言い換えると、該基準信号点ベクトルに対する前記特定の1つのOFDMシンボルの各検波信号ベクトルの位相回転量は残留搬送波周波数誤差の量に比例した同一値となるので、該位相回転量から残留搬送波周波数誤差を推定できる。

【 0 0 6 7 】

また、推定した残留搬送波周波数誤差から前記特定の1つのOFDMシンボル以外のOFDMシンボルに含まれる検波信号ベクトルに対する位相回転量をそれぞれ求めることができる。さらにまた、無線通信において一般的な周波数選択性フェージング環境下においては、サブキャリア毎に通信品質が異なるため、通信品質が良好なサブキャリアの検波信号から検出した位相回転量信号の重みを大きくしたベクトル信号を処理することによって、フェージング等の影響を抑制し、残留周波数誤差の検出精度を改善できる。また、前記特定の1つのOFDMシンボル内の各検波ベクトル信号のベクトル和を処理することによって該各検波ベクトル信号の位相成分を平滑化することで、熱雑音等の影響を抑制し、残留搬送波周波数誤差の検出精度を改善できる。しかしながら、上述のように残留搬送波周波数誤差に起因する位相回転量を、同期検波手段から出力される特定の1つのOFDMシンボルのみから検出するだけでは、一定以上の検出精度を得ることがで

きない。

【0068】

一方、上述のような特定の1つのシンボルからだけでなく、各OFDMシンボルに含まれる既知のパイロット信号の位相回転量をOFDMシンボル毎に検出し、十分に多数のパイロット信号から残留搬送波周波数誤差に起因する1OFDMシンボルあたりの位相回転量の平均値を求めることによって、残留搬送波周波数誤差の検出精度を高めることができる。各OFDMシンボルに含まれるパイロット信号の1OFDMシンボルあたりの平均の位相回転量は、当該OFDMシンボルに含まれる各パイロット信号ベクトルのベクトル和とその1シンボル前のOFDMシンボルに含まれる各パイロット信号ベクトルのベクトル和に対する位相差を積分した後に積分を行ったシンボル数で除算することにより、精度良く求めることができる。また、無線通信において一般的な周波数選択性フェージング環境下においては、サブキャリア毎に通信品質が異なるため、各OFDMシンボルに含まれる各パイロット信号ベクトルのベクトル和を演算する前に、通信品質が良好なパイロット信号ベクトルの重みを大きくしたベクトル信号を処理することによって、フェージング等の影響を抑制し、残留搬送波周波数誤差の検出精度を改善できる。ただし、高い検出精度を得るためには非常に多くのパイロット信号を処理する必要があり、原理上、パケットの先頭付近のOFDMシンボルを処理している期間は一定以上の検出精度を得ることができない。

【0069】

特に、1つのOFDMシンボルに含まれるパイロット信号の数はサブキャリア数に比較して非常に少ないため、パケットの先頭付近のいくつかのOFDMシンボルのパイロット信号のみを用いて検出した残留搬送波周波数誤差の検出精度は、前述の特定の1つのOFDMシンボルに含まれるすべてのサブキャリアの検波信号を用いて検出した残留搬送波周波数誤差の検出精度よりも悪くなってしまう。そこで、パケットの先頭付近のOFDMシンボルに含まれる残留搬送波周波数誤差に起因する位相回転については、前述のような特定の1つのOFDMシンボル内のすべてのサブキャリアの検波信号を用いて検出した位相補正量によって補正を行い、後続のOFDMシンボルに含まれる位相回転については、前述のよう

な各OFDMシンボルに含まれる既知のパイロット信号の位相回転量をOFDMシンボル毎に検出して得られる位相補正量を用いて補正を行うことにより、パケット全体に渡って精度の高い位相補正を行うことができる。

【0070】

好ましくは前記OFDM復調装置であって、

前記逆変調手段は前記特定シンボル抽出手段から出力された特定の1つのOFDMシンボルに含まれる検波ベクトル信号の各要素に対して前記硬判定手段から出力された硬判定結果に応じた符号の反転処理を施すことによる逆変調を行い各サブキャリアの逆変調ベクトル信号を出力する。

【0071】

例えば、BPSKやQPSKのように、ある基準信号点から他の基準信号点への遷移が、符号の反転処理のみによって可能であるような変調方式によって各サブキャリア信号が変調されている場合には、逆変調処理は信号の符号を反転処理することによって実現できるので、逆変調手段の回路構成を単純化することができる。

【0072】

【発明の実施の形態】

以下、図面を参照してこの発明を実際にはどのように実施するかについて説明する。

【0073】

図1は、この発明の実施の形態の第1の例を示すブロック図である。なお、本構成例は請求項1の発明に対応する。

【0074】

図1において、アンテナ101で受信されたOFDM信号は、受信回路102に入力される。受信回路102は入力されたOFDM信号に対し、周波数変換、フィルタリングおよび直交検波等の受信処理を行い複素ベースバンド信号として出力する。受信回路102から出力された複素ベースバンド信号は同期処理回路103に入力される。同期処理回路103では入力された複素ベースバンド信号の同期用プリアンブル信号を用いて搬送波周波数誤差およびシンボルタイミング

を検出し、検出した搬送波周波数誤差情報を用いて受信処理後の複素ベースバンド信号に対して搬送波周波数誤差補正処理を行い出力するとともに、検出したシンボルタイミング情報信号を出力する。シンボルタイミングの検出は、従来装置と同様に、複素ベースバンド信号からガードインターバルを除去しフーリエ変換回路に入力する信号を抽出するために必要となる。

【0075】

同期処理回路103から出力された搬送波周波数誤差補正処理後の信号およびシンボルタイミング情報信号はガードインターバル除去回路104に入力される。ガードインターバル除去回路104では、入力されたシンボルタイミング情報に従い、入力された搬送波周波数誤差補正処理後の信号に1OFDMシンボル毎に1OFDMシンボル長からガードインターバルに相当する信号を抜いた時間幅のFFTウィンドウをかけることによりガードインターバルに相当する信号を除去し、フーリエ変換回路105に入力すべき信号を抽出し出力する。ガードインターバル除去回路104から出力されたガードインターバル除去後の信号はフーリエ変換回路105に入力される。フーリエ変換回路105では、入力されたガードインターバル除去後の信号を高速フーリエ変換することにより各サブキャリア信号を分離して抽出し出力する。

【0076】

なお、このフーリエ変換回路105は、1OFDMシンボル毎に高速フーリエ変換処理を行う。フーリエ変換回路105から出力された各サブキャリア信号は同期検波回路107に入力されるとともにチャネル推定回路106に入力される。チャネル推定回路106では、入力された各サブキャリア信号のうちチャネル推定用プリアンプル信号に相当する信号を用いてOFDM信号が通ってきたチャネルの状態をサブキャリア毎に推定し、推定されたチャネル推定結果を出力する。

【0077】

このチャネル推定結果からは、例えば、各々のサブキャリアの振幅や位相がフェージングによりどのような影響を受けているかを知ることができる。チャネル推定回路106から出力されたチャネル推定結果は同期検波回路107に入力さ

れるとともに重み係数演算回路 1 0 8 に入力される。同期検波回路 1 0 7 では、入力されたチャネル推定結果を用いて各サブキャリア毎にフェージング等のチャネル特性に起因する振幅変動および位相回転を補正するとともに同期検波を行い、検波信号を出力する。同期検波回路 1 0 7 から出力された検波信号は特定シンボル抽出回路 1 0 9 に入力されるとともに位相回転補正回路 1 1 0 に入力される。特定シンボル抽出回路 1 0 9 は、入力された検波信号から予め定められたパケット先頭付近の特定の 1 つの OFDM シンボルに含まれる全てのサブキャリアの検波信号を抽出して出力する。

【 0 0 7 8 】

特定シンボル抽出回路 1 0 9 から出力された各検波信号は位相回転量検出回路 1 1 1 に入力されるとともに硬判定回路 1 1 2 に入力される。硬判定回路 1 1 2 では、特定シンボル抽出回路 1 0 9 から入力された各検波信号のそれぞれに対して硬判定を行い、各判定結果を出力する。硬判定回路 1 1 2 から出力された各判定結果は位相回転量検出回路 1 1 1 に入力される。位相回転量検出回路 1 1 1 は、硬判定回路 1 1 2 から入力された各判定結果に基づき、特定シンボル抽出回路 1 0 9 から入力された各検波信号のそれぞれに対して残留搬送波周波数誤差に起因する位相回転量を検出して出力する。例えば、特定シンボル抽出回路 1 0 9 によって抽出される検波信号が BPSK 変調されている場合には、同期検波後の信号は本来、位相平面上で図 1 1 に示す 2 個の基準信号点 S 0 および S 1 のいずれかの位置に現れる。しかし、同期処理回路 1 0 3 の出力する信号に残留搬送波周波数誤差による位相回転がある場合には、同期検波された検波信号のそれぞれに残留搬送波周波数誤差の量に比例した位相回転が生じるため、同期検波回路 1 0 7 から出力される検波信号(例えば図 1 1 の R 0 と R 1)の位置は本来の位置であるいずれか 1 つの基準信号点と一致しなくなる。

【 0 0 7 9 】

位相回転量検出回路 1 1 1 は、各サブキャリアの検波信号について、それぞれの位相回転量あるいはそれに相当する信号を検出して出力する。例えば、図 1 1 に示す入力信号 R 0 が同期検波回路 1 0 7 から出力された検波信号であった場合、硬判定回路 1 1 2 は基準信号点 S 0 および S 1 の中で位置が入力信号 R 0 に最

も近い基準信号点 S_0 を出力することになるため、位相回転量検出回路 111 は基準信号点 S_0 と入力信号 R_0 との位相差 P_0 を検出して出力する。また、図 11 に示す入力信号 R_1 が同期検波回路 107 から出力された検波信号であった場合、硬判定回路 112 は基準信号点 S_0 および S_1 の中で位置が入力信号 R_1 に最も近い基準信号点 S_1 を出力することになるため、位相回転量検出回路 111 は基準信号点 S_1 と入力信号 R_1 との位相差 P_1 を検出して出力する。位相回転量検出回路 111 から出力された各サブキャリアの位相回転量情報信号は重み付け回路 113 に入力される。

【0080】

一方、重み係数演算回路 108 は、チャンネル推定回路 106 から入力される各サブキャリアのチャンネル推定結果に基づいてサブキャリア毎にその通信品質に応じた重み係数を演算して出力する。例えば、各サブキャリアの通信品質を表す尺度としては、各サブキャリア信号の受信電力レベル等が考えられる。これらの受信電力レベルはチャンネル推定回路 106 から入力される各サブキャリアのチャンネル推定結果を用いて簡単な演算を行うことによって求めることができる。例えば、各サブキャリアのチャンネル推定結果の振幅成分を 2 乗することにより求めることができる。

【0081】

重み係数演算回路 108 から出力されたサブキャリア毎の重み係数は重み付け回路 113 に入力される。重み付け回路 113 は、重み係数演算回路 108 から入力された各サブキャリアの重み係数に基づいて位相回転量検出回路 111 から入力された各サブキャリアの位相回転量情報信号に対して重み付けを行い出力する。この重み付けにより、フェージング等によって情報の信頼度が低下している位相回転量情報を用いることにより生じる悪影響を抑制することができる。重み付け回路 113 から出力された重み付け後の各サブキャリアの位相回転量情報信号はシンボル内平滑化回路 114 に入力される。シンボル内平滑化回路 114 は、重み付け回路 113 から入力された当該 OFDM シンボルの重み付け後の全てのサブキャリアの位相回転量情報信号を用いて平滑化処理を行うことにより、受信回路 102 において付加される熱雑音等の影響を抑制し、残留搬送波周波数誤

差に起因して生じる各サブキャリアに共通する位相回転量を高精度に算出して出力する。

【 0 0 8 2 】

シンボル内平滑化回路 1 1 4 から出力された高精度な位相回転量情報信号は単位量演算回路 1 1 5 に入力される。単位量演算回路 1 1 5 は、シンボル内平滑化回路 1 1 4 から入力された高精度な位相回転量情報信号を用いて、検波信号の残留搬送波周波数誤差に起因する 1 O F D M シンボルあたりの位相回転量を演算して出力する。この演算は、例えば、図 1 0 に記載のチャネル推定用プリアンブル信号と特定の 1 O F D M シンボルの間の時間間隔を 1 O F D M シンボル間隔で除算した値で、シンボル内平滑化回路 1 1 4 から入力された高精度な位相回転量情報を除算することにより、簡単に行うことができる。

【 0 0 8 3 】

単位量演算回路 1 1 5 から出力された信号は、位相回転量推定回路 1 1 6 に入力される。位相回転量推定回路 1 1 6 は、単位量演算回路 1 1 5 から入力される検波信号の残留搬送波周波数誤差に起因する 1 O F D M シンボルあたりの位相回転量に基づいて、同期検波回路 1 0 7 から出力される検波信号に付加されている残留搬送波周波数誤差に起因して生じる位相回転量を推定して位相回転量情報信号を出力する。この位相回転量の推定は、例えば、当該検波信号を含んでいた O F D M シンボルと図 1 0 に記載のチャネル推定用プリアンブル信号の間の時間間隔を 1 O F D M シンボル間隔で除算した値を、単位量演算回路 1 1 5 から入力された検波信号の残留搬送波周波数誤差に起因する 1 O F D M シンボルあたりの位相回転量に乘算することにより、簡単に行うことができる。

【 0 0 8 4 】

位相回転量推定回路 1 1 6 から出力された各検波信号の位相回転量情報信号は位相回転補正回路 1 1 0 に入力される。位相回転補正回路 1 1 0 は、位相回転量推定回路 1 1 6 から入力された各検波信号の位相回転量情報信号を用いて各検波信号の残留搬送波周波数誤差に起因する位相回転を補正し、位相回転補正後の検波信号を出力する。位相回転補正回路 1 1 0 から出力された位相回転補正後の検波信号は識別回路 1 1 7 に入力される。識別回路 1 1 7 は、入力された位相回転

補正後の検波信号に対してシンボル判定を行い、判定結果を出力する。

【0085】

図2は、この発明の実施の形態の第2の例を示すブロック図である。なお、本構成例は請求項2の発明に対応する。

【0086】

図2において、アンテナ101で受信されたOFDM信号は、受信回路102に入力される。受信回路102は入力されたOFDM信号に対し、周波数変換、フィルタリングおよび直交検波等の受信処理を行い複素ベースバンド信号として出力する。受信回路102から出力された複素ベースバンド信号は同期処理回路103に入力される。同期処理回路103では入力された複素ベースバンド信号の同期用プリアンブル信号を用いて搬送波周波数誤差およびシンボルタイミングを検出し、検出した搬送波周波数誤差情報を用いて受信処理後の複素ベースバンド信号に対して搬送波周波数誤差補正処理を行い出力するとともに、検出したシンボルタイミング情報信号を出力する。シンボルタイミングの検出は、従来装置と同様に、複素ベースバンド信号からガードインターバルを除去しフーリエ変換回路に入力する信号を抽出するために必要となる。

【0087】

同期処理回路103から出力された搬送波周波数誤差補正処理後の信号およびシンボルタイミング情報信号はガードインターバル除去回路104に入力される。ガードインターバル除去回路104では、入力されたシンボルタイミング情報に従い、入力された搬送波周波数誤差補正処理後の信号に1OFDMシンボル毎に1OFDMシンボル長からガードインターバルに相当する信号を抜いた時間幅のFFTウィンドウをかけることによりガードインターバルに相当する信号を除去し、フーリエ変換回路105に入力すべき信号を抽出し出力する。ガードインターバル除去回路104から出力されたガードインターバル除去後の信号はフーリエ変換回路105に入力される。フーリエ変換回路105では、入力されたガードインターバル除去後の信号を高速フーリエ変換することにより各サブキャリア信号を分離して抽出し出力する。

【0088】

なお、このフーリエ変換回路105は、1OFDMシンボル毎に高速フーリエ変換処理を行う。フーリエ変換回路105から出力された各サブキャリア信号は同期検波回路107に入力されるとともにチャンネル推定回路106に入力される。チャンネル推定回路106では、入力された各サブキャリア信号のうちチャンネル推定用プリアンプル信号に相当する信号を用いてOFDM信号が通ってきたチャンネルの状態をサブキャリア毎に推定し、推定されたチャンネル推定結果を出力する。このチャンネル推定結果からは、例えば、各々のサブキャリアの振幅や位相がフェージングによりどのような影響を受けているかを知ることができる。

【0089】

チャンネル推定回路106から出力されたチャンネル推定結果は同期検波回路107に入力されるとともに重み係数演算回路108に入力される。同期検波回路107では、入力されたチャンネル推定結果を用いて各サブキャリア毎にフェージング等のチャンネル特性に起因する振幅変動および位相回転を補正するとともに同期検波を行い、検波信号を出力する。同期検波回路107から出力された検波信号は特定シンボル抽出回路109に入力されるとともに位相回転補正回路110に入力される。

【0090】

特定シンボル抽出回路109は、入力された検波信号から予め定められたパケット先頭付近の特定の1つのOFDMシンボルに含まれる全てのサブキャリアの検波信号を抽出して出力する。特定シンボル抽出回路109から出力された各検波信号は逆変調回路201に入力されるとともに硬判定回路112に入力される。硬判定回路112では、特定シンボル抽出回路109から入力された各検波信号のそれぞれに対して硬判定を行い、各判定結果を出力する。硬判定回路112から出力された各判定結果は逆変調回路201に入力される。逆変調回路201は、硬判定回路112から入力された各判定結果に基づき、特定シンボル抽出回路109から入力された各検波信号のそれぞれに対してベースバンド上で逆変調処理を行い、逆変調後の複素ベクトル信号を出力する。

【0091】

この逆変調処理により、特定シンボル抽出回路109から入力された各検波信

号から、送信側の変調処理によって付加されていた信号成分が除去される。従って、逆変調後の信号には残留搬送波周波数誤差に起因して生じる位相回転による位相成分と、受信回路 1 0 2 において付加される熱雑音等の成分のみが含まれることになる。逆変調回路 2 0 1 から出力された逆変調後の各サブキャリアの複素ベクトル信号は重み付け回路 2 0 2 に入力される。

【 0 0 9 2 】

一方、重み係数演算回路 1 0 8 は、チャンネル推定回路 1 0 6 から入力される各サブキャリアのチャンネル推定結果に基づいてサブキャリア毎にその通信品質に応じた重み係数を演算して出力する。例えば、各サブキャリアの通信品質を表す尺度としては、各サブキャリア信号の受信電力レベル等が考えられる。これらの受信電力レベルはチャンネル推定回路 1 0 6 から入力される各サブキャリアのチャンネル推定結果を用いて簡単な演算を行うことによって求めることができる。例えば、各サブキャリアのチャンネル推定結果の振幅成分を 2 乗することにより求めることができる。重み係数演算回路 1 0 8 から出力されたサブキャリア毎の重み係数は重み付け回路 2 0 2 に入力される。重み付け回路 2 0 2 は、重み係数演算回路 1 0 8 から入力された各サブキャリアの重み係数に基づいて逆変調回路 2 0 1 から入力された逆変調後の各サブキャリアの複素ベクトル信号に対して重み付けを行い出力する。

【 0 0 9 3 】

この重み付けは、例えば、重み係数演算回路 1 0 8 から出力された各サブキャリアの重み係数を、逆変調回路 2 0 1 から入力された逆変調後の各サブキャリアの複素ベクトル信号の振幅成分とすることにより実現できる。この重み付けにより、フェージング等によって情報の信頼度が低下している位相回転量情報を用いることにより生じる悪影響を抑制することができる。重み付け回路 2 0 2 から出力された重み付け後の複素ベクトル信号はシンボル内ベクトル和演算回路 2 0 0 に入力される。シンボル内ベクトル和演算回路 2 0 3 は、重み付け回路 2 0 2 から入力された当該 OFDM シンボルの重み付け後の全ての複素ベクトル信号のベクトル和を演算する。このベクトル和演算によって、重み付け回路 2 0 2 から入力された複素ベクトル信号の位相成分の平滑化が実現されることになる。この位

相成分の平滑化により、受信回路102において付加される熱雑音等の影響を抑制することができる。

【0094】

つまり、シンボル内ベクトル和演算回路203から出力される複素ベクトル信号の位相成分は、残留搬送波周波数誤差に起因して生じる各サブキャリアに共通する位相回転量を高精度に表していることになる。シンボル内ベクトル和演算回路203から出力された複素ベクトル信号は位相検出回路204に入力される。位相検出回路204は、シンボル内ベクトル和演算回路203から入力された複素ベクトル信号の位相成分を検出して位相成分情報信号を出力する。位相検出回路204から出力された位相成分情報信号は単位量演算回路115に入力される。単位量演算回路115は、位相検出回路204から入力された位相成分情報信号を用いて、検波信号の残留搬送波周波数誤差に起因する1OFDMシンボルあたりの位相回転量を演算して出力する。

【0095】

この演算は、例えば、図10に記載のチャネル推定用プリアンブル信号と特定の1OFDMシンボルの間の時間間隔を1OFDMシンボル間隔で除算した値で、位相検出回路204から入力された位相成分情報を除算することにより、簡単に行うことができる。単位量演算回路115から出力された信号は、位相回転量推定回路116に入力される。位相回転量推定回路116は、単位量演算回路115から入力される検波信号の残留搬送波周波数誤差に起因する1OFDMシンボルあたりの位相回転量に基づいて、同期検波回路107から出力される検波信号に付加されている残留搬送波周波数誤差に起因して生じる位相回転量を推定して位相回転量情報信号を出力する。

【0096】

この位相回転量の推定は、例えば、当該検波信号を含んでいたOFDMシンボルと図10に記載のチャネル推定用プリアンブル信号の間の時間間隔を1OFDMシンボル間隔で除算した値を、単位量演算回路115から入力された検波信号の残留搬送波周波数誤差に起因する1OFDMシンボルあたりの位相回転量に乗算することにより、簡単に行うことができる。位相回転量推定回路116から出

力された各検波信号の位相回転量情報信号は位相回転補正回路 1 1 0 に入力される。位相回転補正回路 1 1 0 は、位相回転量推定回路 1 1 6 から入力された各検波信号の位相回転量情報信号を用いて各検波信号の残留搬送波周波数誤差に起因する位相回転を補正し、位相回転補正後の検波信号を出力する。位相回転補正回路 1 1 0 から出力された位相回転補正後の検波信号は識別回路 1 1 7 に入力される。識別回路 1 1 7 は、入力された位相回転補正後の検波信号に対してシンボル判定を行い、判定結果を出力する。

【0097】

図 3 は、この発明の実施の形態の第 3 の例を示すブロック図である。なお、図 3 は残留搬送波周波数誤差による位相回転を検出するために用いる特定の 1 つの OFDM シンボルの各サブキャリア信号が、例えば BPSK や QPSK のように、ある基準信号点から任意の基準信号点への遷移が符号の反転処理のみによって可能であるような変調方式によって変調されている場合の構成例であって、請求項 3 の発明に対応する。この例における OFDM 復調装置の動作について、先に説明した第 2 の例と異なる部分について、以下に説明する。

【0098】

すなわち、第 2 の例では特定シンボル抽出回路 1 0 9 の出力信号である各検波信号は逆変調回路 2 0 1 に入力されるとともに硬判定回路 1 1 2 に入力されていたが、本例では、各検波信号は符号反転制御回路 3 0 1 に入力されるとともに硬判定回路 1 1 2 に入力されている。符号反転制御回路 3 0 1 は、入力された各検波信号に対する逆変調処理を、符号反転処理によって実現している。符号反転制御回路 3 0 1 から出力された符号反転処理後の各複素ベクトル信号は重み付け回路 2 0 2 に入力される。

【0099】

以上の動作以外は第 2 の例と同様である。

【0100】

図 4 は、この発明の実施の形態の第 4 の例を示すブロック図である。なお、本構成例は請求項 4 の発明に対応する。

【0101】

図4において、アンテナ101で受信されたOFDM信号は、受信回路102に入力される。受信回路102は入力されたOFDM信号に対し、周波数変換、フィルタリングおよび直交検波等の受信処理を行い複素ベースバンド信号として出力する。受信回路102から出力された複素ベースバンド信号は同期処理回路103に入力される。同期処理回路103では入力された複素ベースバンド信号の同期用プリアンブル信号を用いて搬送波周波数誤差およびシンボルタイミングを検出し、検出した搬送波周波数誤差情報を用いて受信処理後の複素ベースバンド信号に対して搬送波周波数誤差補正処理を行い出力するとともに、検出したシンボルタイミング情報信号を出力する。シンボルタイミングの検出は、従来装置と同様に、複素ベースバンド信号からガードインターバルを除去しフーリエ変換回路に入力する信号を抽出するために必要となる。

【0102】

同期処理回路103から出力された搬送波周波数誤差補正処理後の信号およびシンボルタイミング情報信号はガードインターバル除去回路104に入力される。ガードインターバル除去回路104では、入力されたシンボルタイミング情報に従い、入力された搬送波周波数誤差補正処理後の信号に1OFDMシンボル毎に1OFDMシンボル長からガードインターバルに相当する信号を抜いた時間幅のFFTウィンドウをかけることによりガードインターバルに相当する信号を除去し、フーリエ変換回路105に入力すべき信号を抽出し出力する。ガードインターバル除去回路104から出力されたガードインターバル除去後の信号はフーリエ変換回路105に入力される。フーリエ変換回路105では、入力されたガードインターバル除去後の信号を高速フーリエ変換することにより各サブキャリア信号を分離して抽出し出力する。

【0103】

なお、このフーリエ変換回路105は、1OFDMシンボル毎に高速フーリエ変換処理を行う。フーリエ変換回路105から出力された各サブキャリア信号は同期検波回路107に入力されるとともにチャネル推定回路106に入力される。チャネル推定回路106では、入力された各サブキャリア信号のうちチャネル推定用プリアンブル信号に相当する信号を用いてOFDM信号が通ってきたチャ

ネルの状態をサブキャリア毎に推定し、推定されたチャネル推定結果を出力する。このチャネル推定結果からは、例えば、各々のサブキャリアの振幅や位相がフェージングによりどのような影響を受けているかを知ることができる。

【0104】

チャネル推定回路106から出力されたチャネル推定結果は同期検波回路107に入力されるとともに重み係数演算回路108に入力される。同期検波回路107では、入力されたチャネル推定結果を用いて各サブキャリア毎にフェージング等のチャネル特性に起因する振幅変動および位相回転を補正するとともに同期検波を行い、検波信号を出力する。同期検波回路107から出力された検波信号は特定シンボル抽出回路109およびパイロット信号抽出回路401に入力されるとともに位相回転補正回路110に入力される。

【0105】

特定シンボル抽出回路109は、入力された検波信号から予め定められたパケット先頭付近の特定の1つのOFDMシンボルに含まれる全てのサブキャリアの検波信号を抽出して出力する。特定シンボル抽出回路109から出力された各検波信号は位相回転量検出回路111に入力されるとともに硬判定回路112に入力される。硬判定回路112では、特定シンボル抽出回路109から入力された各検波信号のそれぞれに対して硬判定を行い、各判定結果を出力する。硬判定回路112から出力された各判定結果は位相回転量検出回路111に入力される。位相回転量検出回路111は、硬判定回路112から入力された各判定結果に基づき、特定シンボル抽出回路109から入力された各検波信号のそれぞれに対して残留搬送波周波数誤差に起因する位相回転量を検出して出力する。

【0106】

例えば、特定シンボル抽出回路109によって抽出される検波信号がBPSK変調されている場合には、同期検波後の信号は本来、位相平面上で図11に示す2個の基準信号点S0およびS1のいずれかの位置に現れる。しかし、同期処理回路103の出力する信号に残留搬送波周波数誤差による位相回転がある場合には、同期検波された検波信号のそれぞれに残留搬送波周波数誤差の量に比例した位相回転が生じるため、同期検波回路107から出力される検波信号(例えば図

11のR0とR1)の位置は本来の位置であるいずれか1つの基準信号点と一致しなくなる。

【0107】

位相回転量検出回路111は、各サブキャリアの検波信号について、それぞれの位相回転量あるいはそれに相当する信号を検出して出力する。例えば、図11に示す入力信号R0が同期検波回路107から出力された検波信号であった場合、硬判定回路112は基準信号点S0およびS1の中で位置が入力信号R0に最も近い基準信号点S0を出力することになるため、位相回転量検出回路111は基準信号点S0と入力信号R0との位相差P0を検出して出力する。また、図11に示す入力信号R1が同期検波回路107から出力された検波信号であった場合、硬判定回路112は基準信号点S0およびS1の中で位置が入力信号R1に最も近い基準信号点S1を出力することになるため、位相回転量検出回路111は基準信号点S1と入力信号R1との位相差P1を検出して出力する。

【0108】

位相回転量検出回路111から出力された各サブキャリアの位相回転量情報信号は重み付け回路113に入力される。一方、重み係数演算回路108は、チャネル推定回路106から入力される各サブキャリアのチャネル推定結果に基づいてサブキャリア毎にその通信品質に応じた重み係数を演算して出力する。例えば、各サブキャリアの通信品質を表す尺度としては、各サブキャリア信号の受信電力レベル等が考えられる。これらの受信電力レベルはチャネル推定回路106から入力される各サブキャリアのチャネル推定結果を用いて簡単な演算を行うことによって求めることができる。例えば、各サブキャリアのチャネル推定結果の振幅成分を2乗することにより求めることができる。

【0109】

重み係数演算回路108から出力されたサブキャリア毎の重み係数は重み付け回路113に入力される。重み付け回路113は、重み係数演算回路108から入力された各サブキャリアの重み係数に基づいて位相回転量検出回路111から入力された各サブキャリアの位相回転量情報信号に対して重み付けを行い出力する。この重み付けにより、フェージング等によって情報の信頼度が低下している

位相回転量情報を用いることにより生じる悪影響を抑制することができる。重み付け回路113から出力された重み付け後の各サブキャリアの位相回転量情報信号はシンボル内平滑化回路114に入力される。シンボル内平滑化回路114は、重み付け回路113から入力された当該OFDMシンボルの重み付け後の全てのサブキャリアの位相回転量情報信号を用いて平滑化処理を行うことにより、受信回路102において付加される熱雑音等の影響を抑制し、残留搬送波周波数誤差に起因して生じる各サブキャリアに共通する位相回転量を高精度に算出して出力する。シンボル内平滑化回路114から出力された高精度な位相回転量情報信号は単位量演算回路115に入力される。単位量演算回路115は、シンボル内平滑化回路114から入力された高精度な位相回転量情報信号を用いて、検波信号の残留搬送波周波数誤差に起因する1OFDMシンボルあたりの位相回転量を演算して出力する。

【0110】

この演算は、例えば、図10に記載のチャネル推定用プリアンブル信号と特定の1OFDMシンボルの間の時間間隔を1OFDMシンボル間隔で除算した値で、シンボル内平滑化回路114から入力された高精度な位相回転量情報を除算することにより、簡単に行うことができる。単位量演算回路115から出力された信号は、選択回路403に入力される。一方、パイロット信号抽出回路401では、同期検波回路107から入力された各検波信号に含まれるパイロット信号に相当する検波信号を抽出して出力する。パイロット信号抽出回路401から出力された信号は、残留位相回転量検出回路402に入力される。残留位相回転量検出回路402では、パイロット信号抽出回路401から入力された複数OFDMシンボルに含まれる十分に多数のパイロット信号に相当する検波信号を用いて、残留搬送波周波数誤差に起因する1OFDMシンボルあたりの位相回転量の平均値を求める。この残留位相回転量検出回路402により、前述の特定の1シンボル中に含まれる検波信号の数よりも多いパイロット信号を処理することにより、単位量演算回路115から出力される信号よりも高い精度で残留搬送波周波数誤差に起因する1OFDMシンボルあたりの位相回転量を求めることができる。残留位相回転量検出回路402から出力された残留搬送波周波数誤差に起因する1

OFDMシンボルあたりの位相回転量の平均値は、選択回路403に入力される。

【0111】

選択回路403では、単位量演算回路115から入力された位相回転量信号と残留位相回転量検出回路402から入力された位相回転量信号のうち、精度の高い一方の信号を選択して出力する。どちらの信号の精度が高いかについては、例えば、同期検波回路107が処理した各検波信号のOFDMシンボル相当数に応じて判定することができる。仮に、1つのOFDMシンボルに全部で52本のサブキャリアが含まれており、さらに、その52本のサブキャリアのうちの4本がパイロット信号を送信するために用いられていたとすると、13個以上のOFDMシンボルに含まれる52個以上のパイロット信号を残留位相誤差検出回路402が処理すれば、残留位相誤差検出回路402が出力する信号の精度は単位量演算回路115が出力する信号の精度以上の精度になることは明らかである。ただし、残留位相誤差検出回路402が処理するパイロット信号数が52未満であれば、信号の精度は単位量演算回路115が出力する信号の方が高くなる。

【0112】

選択回路403から出力された精度の高い残留搬送波周波数誤差に起因する1 OFDMシンボルあたりの位相回転量情報信号は位相回転量推定回路116に入力される。位相回転量推定回路116は、選択回路403から入力される精度の高い残留搬送波周波数誤差に起因する1 OFDMシンボルあたりの位相回転量情報に基づいて、同期検波回路107から出力される検波信号に付加されている残留搬送波周波数誤差に起因して生じる位相回転量を推定して位相回転量情報信号を出力する。この位相回転量の推定は、例えば、当該検波信号を含んでいたOFDMシンボルと図10に記載のチャネル推定用プリアンブル信号の間の時間間隔を1 OFDMシンボル間隔で除算した値を、選択回路403から入力される精度の高い残留搬送波周波数誤差に起因する1 OFDMシンボルあたりの位相回転量に乗算することにより、簡単に行うことができる。位相回転量推定回路116から出力された各検波信号の位相回転量情報信号は位相回転補正回路110に入力される。位相回転補正回路110は、位相回転量推定回路116から入力された

各検波信号の位相回転量情報信号を用いて各検波信号の残留搬送波周波数誤差に起因する位相回転を補正し、位相回転補正後の検波信号を出力する。位相回転補正回路 1 1 0 から出力された位相回転補正後の検波信号は識別回路 1 1 7 に入力される。識別回路 1 1 7 は、入力された位相回転補正後の検波信号に対してシンボル判定を行い、判定結果を出力する。

【 0 1 1 3 】

図 5 は、この発明の実施の形態の第 5 の例を示すブロック図である。なお、本構成例は請求項 5 の発明に対応する。

【 0 1 1 4 】

図 5 において、アンテナ 1 0 1 で受信された OFDM 信号は、受信回路 1 0 2 に入力される。受信回路 1 0 2 は入力された OFDM 信号に対し、周波数変換、フィルタリングおよび直交検波等の受信処理を行い複素ベースバンド信号として出力する。受信回路 1 0 2 から出力された複素ベースバンド信号は同期処理回路 1 0 3 に入力される。同期処理回路 1 0 3 では入力された複素ベースバンド信号の同期用プリアンブル信号を用いて搬送波周波数誤差およびシンボルタイミングを検出し、検出した搬送波周波数誤差情報を用いて受信処理後の複素ベースバンド信号に対して搬送波周波数誤差補正処理を行い出力するとともに、検出したシンボルタイミング情報信号を出力する。シンボルタイミングの検出は、従来装置と同様に、複素ベースバンド信号からガードインターバルを除去しフーリエ変換回路に入力する信号を抽出するために必要となる。

【 0 1 1 5 】

同期処理回路 1 0 3 から出力された搬送波周波数誤差補正処理後の信号およびシンボルタイミング情報信号はガードインターバル除去回路 1 0 4 に入力される。ガードインターバル除去回路 1 0 4 では、入力されたシンボルタイミング情報に従い、入力された搬送波周波数誤差補正処理後の信号に 1 OFDM シンボル毎に 1 OFDM シンボル長からガードインターバルに相当する信号を抜いた時間幅の FFT ウィンドウをかけることによりガードインターバルに相当する信号を除去し、フーリエ変換回路 1 0 5 に入力すべき信号を抽出し出力する。ガードインターバル除去回路 1 0 4 から出力されたガードインターバル除去後の信号はフー

リエ変換回路 1 0 5 に入力される。フーリエ変換回路 1 0 5 では、入力されたガードインターバル除去後の信号を高速フーリエ変換することにより各サブキャリア信号を分離して抽出し出力する。なお、このフーリエ変換回路 1 0 5 は、1 0 FDM シンボル毎に高速フーリエ変換処理を行う。フーリエ変換回路 1 0 5 から出力された各サブキャリア信号は同期検波回路 1 0 7 に入力されるとともにチャネル推定回路 1 0 6 に入力される。チャネル推定回路 1 0 6 では、入力された各サブキャリア信号のうちチャネル推定用プリアンプル信号に相当する信号を用いて OFDM 信号が通ってきたチャネルの状態をサブキャリア毎に推定し、推定されたチャネル推定結果を出力する。

【 0 1 1 6 】

このチャネル推定結果からは、例えば、各々のサブキャリアの振幅や位相がフェージングによりどのような影響を受けているかを知ることができる。チャネル推定回路 1 0 6 から出力されたチャネル推定結果は同期検波回路 1 0 7 に入力されるとともに重み係数演算回路 1 0 8 に入力される。同期検波回路 1 0 7 では、入力されたチャネル推定結果を用いて各サブキャリア毎にフェージング等のチャネル特性に起因する振幅変動および位相回転を補正するとともに同期検波を行い、検波信号を出力する。同期検波回路 1 0 7 から出力された検波信号は特定シンボル抽出回路 1 0 9 に入力されるとともに位相回転補正回路 1 1 0 に入力される。

【 0 1 1 7 】

特定シンボル抽出回路 1 0 9 は、入力された検波信号から予め定められたパケット先頭付近の特定の 1 つの OFDM シンボルに含まれる全てのサブキャリアの検波信号を抽出して出力する。特定シンボル抽出回路 1 0 9 から出力された各検波信号は逆変調回路 2 0 1 に入力されるとともに硬判定回路 1 1 2 に入力される。硬判定回路 1 1 2 では、特定シンボル抽出回路 1 0 9 から入力された各検波信号のそれぞれに対して硬判定を行い、各判定結果を出力する。硬判定回路 1 1 2 から出力された各判定結果は逆変調回路 2 0 1 に入力される。逆変調回路 2 0 1 は、硬判定回路 1 1 2 から入力された各判定結果に基づき、特定シンボル抽出回路 1 0 9 から入力された各検波信号のそれぞれに対してベースバンド上で逆変調

処理を行い、逆変調後の複素ベクトル信号を出力する。この逆変調処理により、特定シンボル抽出回路 1 0 9 から入力された各検波信号から、送信側の変調処理によって付加されていた信号成分が除去される。

【0 1 1 8】

従って、逆変調後の信号には残留搬送波周波数誤差に起因して生じる位相回転による位相成分と、受信回路 1 0 2 において付加される熱雑音等の成分のみが含まれることになる。逆変調回路 2 0 1 から出力された逆変調後の各サブキャリアの複素ベクトル信号は重み付け回路 2 0 2 に入力される。一方、重み係数演算回路 1 0 8 は、チャンネル推定回路 1 0 6 から入力される各サブキャリアのチャンネル推定結果に基づいてサブキャリア毎にその通信品質に応じた重み係数を演算して出力する。例えば、各サブキャリアの通信品質を表す尺度としては、各サブキャリア信号の受信電力レベル等が考えられる。これらの受信電力レベルはチャンネル推定回路 1 0 6 から入力される各サブキャリアのチャンネル推定結果を用いて簡単な演算を行うことによって求めることができる。例えば、各サブキャリアのチャンネル推定結果の振幅成分を 2 乗することにより求めることができる。

【0 1 1 9】

重み係数演算回路 1 0 8 から出力されたサブキャリア毎の重み係数は重み付け回路 2 0 2 に入力される。重み付け回路 2 0 2 は、重み係数演算回路 1 0 8 から入力された各サブキャリアの重み係数に基づいて逆変調回路 2 0 1 から入力された逆変調後の各サブキャリアの複素ベクトル信号に対して重み付けを行い出力する。この重み付けは、例えば、重み係数演算回路 1 0 8 から出力された各サブキャリアの重み係数を、逆変調回路 2 0 1 から入力された逆変調後の各サブキャリアの複素ベクトル信号の振幅成分とすることにより実現できる。この重み付けにより、フェージング等によって情報の信頼度が低下している位相回転量情報を用いることにより生じる悪影響を抑制することができる。重み付け回路 2 0 2 から出力された重み付け後の複素ベクトル信号はシンボル内ベクトル和演算回路 2 0 3 に入力される。シンボル内ベクトル和演算回路 2 0 3 は、重み付け回路 2 0 2 から入力された当該 OFDM シンボルの重み付け後の全ての複素ベクトル信号のベクトル和を演算する。

【 0 1 2 0 】

このベクトル和演算によって、重み付け回路 2 0 2 から入力された複素ベクトル信号の位相成分の平滑化が実現されることになる。この位相成分の平滑化により、受信回路 1 0 2 において付加される熱雑音等の影響を抑制することができる。つまり、シンボル内ベクトル和演算回路 2 0 3 から出力される複素ベクトル信号の位相成分は、残留搬送波周波数誤差に起因して生じる各サブキャリアに共通する位相回転量を高精度に表していることになる。シンボル内ベクトル和演算回路 2 0 3 から出力された複素ベクトル信号は位相検出回路 2 0 4 に入力される。位相検出回路 2 0 4 は、シンボル内ベクトル和演算回路 2 0 3 から入力された複素ベクトル信号の位相成分を検出して位相成分情報信号を出力する。位相検出回路 2 0 4 から出力された位相成分情報信号は単位量演算回路 1 1 5 に入力される。単位量演算回路 1 1 5 は、位相検出回路 2 0 4 から入力された位相成分情報信号を用いて、検波信号の残留搬送波周波数誤差に起因する 1 O F D M シンボルあたりの位相回転量を演算して出力する。

【 0 1 2 1 】

この演算は、例えば、図 1 0 に記載のチャネル推定用プリアンブル信号と特定の 1 O F D M シンボルの間の時間間隔を 1 O F D M シンボル間隔で除算した値で、位相検出回路 2 0 4 から入力された位相成分情報を除算することにより、簡単に行うことができる。単位量演算回路 1 1 5 から出力された信号は、選択回路 4 0 3 に入力される。一方、パイロット信号抽出回路 4 0 1 では、同期検波回路 1 0 7 から入力された各検波信号に含まれるパイロット信号に相当する検波信号を抽出して出力する。パイロット信号抽出回路 4 0 1 から出力された信号は、残留位相回転量検出回路 4 0 2 に入力される。残留位相回転量検出回路 4 0 2 では、パイロット信号抽出回路 4 0 1 から入力された複数 O F D M シンボルに含まれる十分に多数のパイロット信号に相当する検波信号を用いて、残留搬送波周波数誤差に起因する 1 O F D M シンボルあたりの位相回転量の平均値を求める。この残留位相回転量検出回路 4 0 2 により、前述の特定の 1 シンボル中に含まれる検波信号の数よりも多いパイロット信号を処理することにより、単位量演算回路 1 1 5 から出力される信号よりも高い精度で残留搬送波周波数誤差に起因する 1 O F

DMシンボルあたりの位相回転量を求めることができる。

【0122】

残留位相回転量検出回路402から出力された残留搬送波周波数誤差に起因する1OFDMシンボルあたりの位相回転量の平均値は、選択回路403に入力される。選択回路403では、単位量演算回路115から入力された位相回転量信号と残留位相回転量検出回路402から入力された位相回転量信号のうち、精度の高い一方の信号を選択して出力する。どちらの信号の精度が高いかについては、例えば、同期検波回路107が処理した各検波信号のOFDMシンボル相当数に応じて判定することができる。仮に、1つのOFDMシンボルに全部で52本のサブキャリアが含まれており、さらに、その52本のサブキャリアのうちの4本がパイロット信号を送信するために用いられていたとすると、13個以上のOFDMシンボルに含まれる52個以上のパイロット信号を残留位相誤差検出回路402が処理すれば、残留位相誤差検出回路402が出力する信号の精度は単位量演算回路115が出力する信号の精度以上の精度になることは明らかである。ただし、残留位相誤差検出回路402が処理するパイロット信号数が52未満であれば、信号の精度は単位量演算回路115が出力する信号の方が高くなる。

【0123】

選択回路403から出力された精度の高い残留搬送波周波数誤差に起因する1OFDMシンボルあたりの位相回転量情報信号は位相回転量推定回路116に入力される。位相回転量推定回路116は、選択回路403から入力される精度の高い残留搬送波周波数誤差に起因する1OFDMシンボルあたりの位相回転量情報に基づいて、同期検波回路107から出力される検波信号に付加されている残留搬送波周波数誤差に起因して生じる位相回転量を推定して位相回転量情報信号を出力する。この位相回転量の推定は、例えば、当該検波信号を含んでいたOFDMシンボルと図10に記載のチャネル推定用プリアンブル信号の間の時間間隔を1OFDMシンボル間隔で除算した値を、選択回路403から入力される精度の高い残留搬送波周波数誤差に起因する1OFDMシンボルあたりの位相回転量に乗算することにより、簡単に行うことができる。

【0124】

位相回転量推定回路 1 1 6 から出力された各検波信号の位相回転量情報信号は位相回転補正回路 1 1 0 に入力される。位相回転補正回路 1 1 0 は、位相回転量推定回路 1 1 6 から入力された各検波信号の位相回転量情報信号を用いて各検波信号の残留搬送波周波数誤差に起因する位相回転を補正し、位相回転補正後の検波信号を出力する。位相回転補正回路 1 1 0 から出力された位相回転補正後の検波信号は識別回路 1 1 7 に入力される。識別回路 1 1 7 は、入力された位相回転補正後の検波信号に対してシンボル判定を行い、判定結果を出力する。

【 0 1 2 5 】

図 6 は、この発明の実施の形態の第 6 の例を示すブロック図である。なお、図 6 は残留搬送波周波数誤差による位相回転を検出するために用いる特定の 1 つの OFDM シンボルの各サブキャリア信号が、例えば BPSK や QPSK のように、ある基準信号点から任意の基準信号点への遷移が符号の反転処理のみによって可能であるような変調方式によって変調されている場合の構成例であって、請求項 6 の発明に対応する。この例における OFDM 復調装置の動作について、先に説明した第 5 の例と異なる部分について、以下に説明する。

【 0 1 2 6 】

すなわち、第 5 の例では特定シンボル抽出回路 1 0 9 の出力信号である各検波信号は逆変調回路 2 0 1 に入力されるとともに硬判定回路 1 1 2 に入力されていたが、本例では、各検波信号は符号反転制御回路 3 0 1 に入力されるとともに硬判定回路 1 1 2 に入力されている。符号反転制御回路 3 0 1 は、入力された各検波信号に対する逆変調処理を、符号反転処理によって実現している。符号反転制御回路 3 0 1 から出力された符号反転処理後の各複素ベクトル信号は重み付け回路 2 0 2 に入力される。

【 0 1 2 7 】

以上の動作以外は第 5 の例と同様である。

【 0 1 2 8 】

図 7 は、この発明の実施の形態の第 7 の例を示すブロック図である。なお、本構成例は請求項 7 の発明に対応する。

【 0 1 2 9 】

図 7 において、アンテナ 1 0 1 で受信された OFDM 信号は、受信回路 1 0 2 に入力される。受信回路 1 0 2 は入力された OFDM 信号に対し、周波数変換、フィルタリングおよび直交検波等の受信処理を行い複素ベースバンド信号として出力する。

【 0 1 3 0 】

受信回路 1 0 2 から出力された複素ベースバンド信号は同期処理回路 1 0 3 に入力される。同期処理回路 1 0 3 では入力された複素ベースバンド信号の同期用プリアンプル信号を用いて搬送波周波数誤差およびシンボルタイミングを検出し、検出した搬送波周波数誤差情報を用いて受信処理後の複素ベースバンド信号に対して搬送波周波数誤差補正処理を行い出力するとともに、検出したシンボルタイミング情報信号を出力する。シンボルタイミングの検出は、従来装置と同様に、複素ベースバンド信号からガードインターバルを除去しフーリエ変換回路に入力する信号を抽出するために必要となる。

【 0 1 3 1 】

同期処理回路 1 0 3 から出力された搬送波周波数誤差補正処理後の信号およびシンボルタイミング情報信号はガードインターバル除去回路 1 0 4 に入力される。ガードインターバル除去回路 1 0 4 では、入力されたシンボルタイミング情報に従い、入力された搬送波周波数誤差補正処理後の信号に 1 OFDM シンボル毎に 1 OFDM シンボル長からガードインターバルに相当する信号を抜いた時間幅の FFT ウィンドウをかけることによりガードインターバルに相当する信号を除去し、フーリエ変換回路 1 0 5 に入力すべき信号を抽出し出力する。ガードインターバル除去回路 1 0 4 から出力されたガードインターバル除去後の信号はフーリエ変換回路 1 0 5 に入力される。フーリエ変換回路 1 0 5 では、入力されたガードインターバル除去後の信号を高速フーリエ変換することにより各サブキャリア信号を分離して抽出し出力する。なお、このフーリエ変換回路 1 0 5 は、1 OFDM シンボル毎に高速フーリエ変換処理を行う。

【 0 1 3 2 】

フーリエ変換回路 1 0 5 から出力された各サブキャリア信号は同期検波回路 1 0 7 に入力されるとともにチャネル推定回路 1 0 6 に入力される。チャネル推定

回路106では、入力された各サブキャリア信号のうちチャンネル推定用プリアンブル信号に相当する信号を用いてOFDM信号が通ってきたチャンネルの状態をサブキャリア毎に推定し、推定されたチャンネル推定結果を出力する。このチャンネル推定結果からは、例えば、各々のサブキャリアの振幅や位相がフェージングによりどのような影響を受けているかを知ることができる。チャンネル推定回路106から出力されたチャンネル推定結果は同期検波回路107に入力されるとともに重み係数演算回路108に入力される。

【0133】

同期検波回路107では、入力されたチャンネル推定結果を用いて各サブキャリア毎にフェージング等のチャンネル特性に起因する振幅変動および位相回転を補正するとともに同期検波を行い、検波信号を出力する。同期検波回路107から出力された検波信号は特定シンボル抽出回路109およびパイロット信号抽出回路401に入力されるとともに位相回転補正回路110に入力される。

【0134】

特定シンボル抽出回路109は、入力された検波信号から予め定められたパケット先頭付近の特定の1つのOFDMシンボルに含まれる全てのサブキャリアの検波信号を抽出して出力する。特定シンボル抽出回路109から出力された各検波信号は位相回転量検出回路111に入力されるとともに硬判定回路112に入力される。硬判定回路112では、特定シンボル抽出回路109から入力された各検波信号のそれぞれに対して硬判定を行い、各判定結果を出力する。硬判定回路112から出力された各判定結果は位相回転量検出回路111に入力される。

【0135】

位相回転量検出回路111は、硬判定回路112から入力された各判定結果に基づき、特定シンボル抽出回路109から入力された各検波信号のそれぞれに対して残留搬送波周波数誤差に起因する位相回転量を検出して出力する。例えば、特定シンボル抽出回路109によって抽出される検波信号がBPSK変調されている場合には、同期検波後の信号は本来、位相平面上で図11に示す2個の基準信号点S0およびS1のいずれかの位置に現れる。しかし、同期処理回路103の出力する信号に残留搬送波周波数誤差による位相回転がある場合には、同期検

波された検波信号のそれぞれに残留搬送波周波数誤差の量に比例した位相回転が生じるため、同期検波回路107から出力される検波信号(例えば図11のR0とR1)の位置は本来の位置であるいずれか1つの基準信号点と一致しなくなる。位相回転量検出回路111は、各サブキャリアの検波信号について、それぞれの位相回転量あるいはそれに相当する信号を検出して出力する。

【0136】

例えば、図11に示す入力信号R0が同期検波回路107から出力された検波信号であった場合、硬判定回路112は基準信号点S0およびS1の中で位置が入力信号R0に最も近い基準信号点S0を出力することになるため、位相回転量検出回路111は基準信号点S0と入力信号R0との位相差P0を検出して出力する。また、図11に示す入力信号R1が同期検波回路107から出力された検波信号であった場合、硬判定回路112は基準信号点S0およびS1の中で位置が入力信号R1に最も近い基準信号点S1を出力することになるため、位相回転量検出回路111は基準信号点S1と入力信号R1との位相差P1を検出して出力する。

【0137】

位相回転量検出回路111から出力された各サブキャリアの位相回転量情報信号は重み付け回路113に入力される。一方、重み係数演算回路108は、チャンネル推定回路106から入力される各サブキャリアのチャンネル推定結果に基づいてサブキャリア毎にその通信品質に応じた重み係数を演算して出力する。例えば、各サブキャリアの通信品質を表す尺度としては、各サブキャリア信号の受信電力レベル等が考えられる。これらの受信電力レベルはチャンネル推定回路106から入力される各サブキャリアのチャンネル推定結果を用いて簡単な演算を行うことによって求めることができる。例えば、各サブキャリアのチャンネル推定結果の振幅成分を2乗することにより求めることができる。重み係数演算回路108から出力されたサブキャリア毎の重み係数は重み付け回路113に入力される。重み付け回路113は、重み係数演算回路108から入力された各サブキャリアの重み係数に基づいて位相回転量検出回路111から入力された各サブキャリアの位相回転量情報信号に対して重み付けを行い出力する。この重み付けにより、フェ

ージング等によって情報の信頼度が低下している位相回転量情報を用いることにより生じる悪影響を抑制することができる。

【0138】

重み付け回路113から出力された重み付け後の各サブキャリアの位相回転量情報信号はシンボル内平滑化回路114に入力される。シンボル内平滑化回路114は、重み付け回路113から入力された当該OFDMシンボルの重み付け後の全てのサブキャリアの位相回転量情報信号を用いて平滑化処理を行うことにより、受信回路102において付加される熱雑音等の影響を抑制し、残留搬送波周波数誤差に起因して生じる各サブキャリアに共通する位相回転量を高精度に算出して出力する。シンボル内平滑化回路114から出力された高精度な位相回転量情報信号は単位量演算回路115に入力される。単位量演算回路115は、シンボル内平滑化回路114から入力された高精度な位相回転量情報信号を用いて、検波信号の残留搬送波周波数誤差に起因する1OFDMシンボルあたりの位相回転量を演算して出力する。

【0139】

この演算は、例えば、図10に記載のチャネル推定用プリアンブル信号と特定の1OFDMシンボルの間の時間間隔を1OFDMシンボル間隔で除算した値で、シンボル内平滑化回路114から入力された高精度な位相回転量情報を除算することにより、簡単に行うことができる。

【0140】

単位量演算回路115から出力された信号は、選択回路403に入力される。

【0141】

一方、パイロット信号抽出回路401では、同期検波回路107から入力された各検波信号に含まれるパイロット信号に相当する検波ベクトル信号を抽出して出力する。パイロット信号抽出回路401から出力された検波ベクトル信号は、重み付け回路701に入力される。重み付け回路701は、重み係数演算回路108から入力された各サブキャリアの重み係数に基づいて、パイロット信号抽出回路401から入力された検波ベクトル信号に対して重み付けを行い出力する。

【0142】

この重み付けにより、フェージング等によって情報の信頼度が低下している検波ベクトル信号を用いることにより生じる悪影響を抑制することができる。重み付け回路 7 0 1 から出力された重み付け後の各検波ベクトル信号はシンボル内ベクトル和演算回路 7 0 2 に入力される。シンボル内ベクトル和演算回路 7 0 2 は、重み付け回路 7 0 1 から入力された当該 OFDM シンボルの重み付け後の全ての検波ベクトル信号のベクトル和を演算する。このベクトル和演算によって、重み付け回路 7 0 1 から入力された重み付け後の当該シンボル中の検波ベクトル信号の位相成分の平均化処理が実現されることになる。

【 0 1 4 3 】

この位相成分の平均化処理により、受信回路 1 0 2 において付加される熱雑音等の影響を抑制することができる。シンボル内ベクトル和演算回路 7 0 2 から出力された検波ベクトル信号は位相差検出回路 7 0 3 に入力されるとともに遅延回路 7 0 4 に入力される。

【 0 1 4 4 】

遅延回路 7 0 4 は、シンボル内ベクトル和演算回路 7 0 2 から入力された検波ベクトル信号を 1 OFDM シンボル期間だけ遅延させて出力する。遅延回路 7 0 4 によって 1 OFDM シンボル分だけ遅延した各検波ベクトル信号は、位相差検出回路 7 0 3 に入力される。位相差検出回路 7 0 3 は、遅延回路 7 0 4 から入力された 1 OFDM シンボル分だけ遅延した各検波ベクトル信号に対するシンボル内ベクトル和演算回路 7 0 2 から入力された検波ベクトル信号の位相差を検出して位相差分信号を 1 OFDM シンボル毎に出力する。

【 0 1 4 5 】

位相差検出回路 7 0 3 から出力された位相差分信号は、積分回路 7 0 5 に入力される。積分回路 7 0 5 は、位相差検出回路 7 0 3 から入力された位相差分信号を積分処理することにより、残留搬送波周波数誤差による累積位相回転量を算出して出力する。この累積位相回転量は、同期検波回路 1 0 7 から出力された当該 OFDM シンボル中の各検波信号に含まれる残留搬送波周波数誤差に起因して生じた累積の位相回転量である。

【 0 1 4 6 】

積分回路 7 0 5 から出力された累積位相回転量信号は、平滑化回路 7 0 6 に入力される。平滑化回路 7 0 6 は、積分回路 7 0 5 から入力された累積位相回転量を複数 OFDM シンボルに渡って時間方向に平滑化処理を行い出力する。

【 0 1 4 7 】

この平滑化処理は、例えば、複数 OFDM シンボルに渡る移動平均処理によって実現することができる。この平滑化処理によって、受信回路 1 0 2 において付加される熱雑音等の影響をさらに抑制することができる。

【 0 1 4 8 】

平滑化回路 7 0 6 から出力された平滑化処理後の累積位相回転量信号は、除算回路 7 0 7 に入力される。除算回路 7 0 7 では、平滑化回路 7 0 6 から入力された平滑化処理後の累積位相回転量を、積分回路 7 0 5 で積分を行った OFDM シンボル数と平滑化回路 7 0 6 で平滑化処理を行った OFDM シンボル数に応じた値で除算することにより、残留搬送波周波数誤差に起因して生じた各検波信号の 1 OFDM シンボルあたりの位相回転量を精度良く求めることができる。例えば、積分回路 7 0 5 で 1 0 OFDM シンボル分の積分処理を行い、後続の平滑化回路 7 0 6 で 3 OFDM シンボル分の移動平均処理を行ったと仮定すると、この 3 OFDM シンボル分の移動平均処理によって必然的に 1 OFDM シンボル分の遅延が生じる。従って、除算回路 7 0 7 は、入力された値を 9 で除算して 1 OFDM シンボルあたりの位相回転量を算出することになる。

【 0 1 4 9 】

この積分回路 7 0 5 において、前述の特定の 1 シンボル中に含まれる検波信号の数よりも十分に大きい OFDM シンボル相当数の積分処理が行われていれば、除算回路 7 0 7 は単位量演算回路 1 1 5 から出力される信号よりも高い精度で残留搬送波周波数誤差に起因する 1 OFDM シンボルあたりの位相回転量を求めることができる。除算回路 7 0 7 から出力された残留搬送波周波数誤差に起因する 1 OFDM シンボルあたりの位相回転量信号は、選択回路 4 0 3 に入力される。

【 0 1 5 0 】

選択回路 4 0 3 では、単位量演算回路 1 1 5 から入力された位相回転量信号と残留位相回転量検出回路 4 0 2 から入力された位相回転量信号のうち、精度の高

い一方の信号を選択して出力する。どちらの信号の精度が高いかについては、例えば、同期検波回路 1 0 7 が処理した各検波信号の OFDM シンボル相当数に応じて判定することができる。

【 0 1 5 1 】

選択回路 4 0 3 から出力された精度の高い残留搬送波周波数誤差に起因する 1 OFDM シンボルあたりの位相回転量情報信号は位相回転量推定回路 1 1 6 に入力される。位相回転量推定回路 1 1 6 は、選択回路 4 0 3 から入力される精度の高い残留搬送波周波数誤差に起因する 1 OFDM シンボルあたりの位相回転量情報に基づいて、同期検波回路 1 0 7 から出力される検波信号に付加されている残留搬送波周波数誤差に起因して生じる位相回転量を推定して位相回転量情報信号を出力する。この位相回転量の推定は、例えば、当該検波信号を含んでいた OFDM シンボルと図 1 0 に記載のチャネル推定用プリアンプル信号の間の時間間隔を 1 OFDM シンボル間隔で除算した値を、選択回路 4 0 3 から入力される精度の高い残留搬送波周波数誤差に起因する 1 OFDM シンボルあたりの位相回転量に乗算することにより、簡単に行うことができる。

【 0 1 5 2 】

位相回転量推定回路 1 1 6 から出力された各検波信号の位相回転量情報信号は位相回転補正回路 1 1 0 に入力される。位相回転補正回路 1 1 0 は、位相回転量推定回路 1 1 6 から入力された各検波信号の位相回転量情報信号を用いて各検波信号の残留搬送波周波数誤差に起因する位相回転を補正し、位相回転補正後の検波信号を出力する。位相回転補正回路 1 1 0 から出力された位相回転補正後の検波信号は識別回路 1 1 7 に入力される。識別回路 1 1 7 は、入力された位相回転補正後の検波信号に対してシンボル判定を行い、判定結果を出力する。

【 0 1 5 3 】

図 8 は、この発明の実施の形態の第 8 の例を示すブロック図である。なお、本構成例は請求項 8 の発明に対応する。

【 0 1 5 4 】

図 8 において、アンテナ 1 0 1 で受信された OFDM 信号は、受信回路 1 0 2 に入力される。受信回路 1 0 2 は入力された OFDM 信号に対し、周波数変換、

フィルタリングおよび直交検波等の受信処理を行い複素ベースバンド信号として出力する。受信回路102から出力された複素ベースバンド信号は同期処理回路103に入力される。同期処理回路103では入力された複素ベースバンド信号の同期用プリアンブル信号を用いて搬送波周波数誤差およびシンボルタイミングを検出し、検出した搬送波周波数誤差情報を用いて受信処理後の複素ベースバンド信号に対して搬送波周波数誤差補正処理を行い出力するとともに、検出したシンボルタイミング情報信号を出力する。シンボルタイミングの検出は、従来装置と同様に、複素ベースバンド信号からガードインターバルを除去しフーリエ変換回路に入力する信号を抽出するために必要となる。

【0155】

同期処理回路103から出力された搬送波周波数誤差補正処理後の信号およびシンボルタイミング情報信号はガードインターバル除去回路104に入力される。ガードインターバル除去回路104では、入力されたシンボルタイミング情報に従い、入力された搬送波周波数誤差補正処理後の信号に1OFDMシンボル毎に1OFDMシンボル長からガードインターバルに相当する信号を抜いた時間幅のFFTウィンドウをかけることによりガードインターバルに相当する信号を除去し、フーリエ変換回路105に入力すべき信号を抽出し出力する。ガードインターバル除去回路104から出力されたガードインターバル除去後の信号はフーリエ変換回路105に入力される。フーリエ変換回路105では、入力されたガードインターバル除去後の信号を高速フーリエ変換することにより各サブキャリア信号を分離して抽出し出力する。なお、このフーリエ変換回路105は、1OFDMシンボル毎に高速フーリエ変換処理を行う。フーリエ変換回路105から出力された各サブキャリア信号は同期検波回路107に入力されるとともにチャネル推定回路106に入力される。チャネル推定回路106では、入力された各サブキャリア信号のうちチャネル推定用プリアンブル信号に相当する信号を用いてOFDM信号が通ってきたチャネルの状態をサブキャリア毎に推定し、推定されたチャネル推定結果を出力する。

【0156】

このチャネル推定結果からは、例えば、各々のサブキャリアの振幅や位相がフ

フェージングによりどのような影響を受けているかを知ることができる。チャネル推定回路 1 0 6 から出力されたチャネル推定結果は同期検波回路 1 0 7 に入力されるとともに重み係数演算回路 1 0 8 に入力される。同期検波回路 1 0 7 では、入力されたチャネル推定結果を用いて各サブキャリア毎にフェージング等のチャネル特性に起因する振幅変動および位相回転を補正するとともに同期検波を行い、検波信号を出力する。同期検波回路 1 0 7 から出力された検波信号は特定シンボル抽出回路 1 0 9 に入力されるとともに位相回転補正回路 1 1 0 に入力される。

【 0 1 5 7 】

特定シンボル抽出回路 1 0 9 は、入力された検波信号から予め定められたパケット先頭付近の特定の 1 つの OFDM シンボルに含まれる全てのサブキャリアの検波信号を抽出して出力する。特定シンボル抽出回路 1 0 9 から出力された各検波信号は逆変調回路 2 0 1 に入力されるとともに硬判定回路 1 1 2 に入力される。硬判定回路 1 1 2 では、特定シンボル抽出回路 1 0 9 から入力された各検波信号のそれぞれに対して硬判定を行い、各判定結果を出力する。硬判定回路 1 1 2 から出力された各判定結果は逆変調回路 2 0 1 に入力される。逆変調回路 2 0 1 は、硬判定回路 1 1 2 から入力された各判定結果に基づき、特定シンボル抽出回路 1 0 9 から入力された各検波信号のそれぞれに対してベースバンド上で逆変調処理を行い、逆変調後の複素ベクトル信号を出力する。

【 0 1 5 8 】

この逆変調処理により、特定シンボル抽出回路 1 0 9 から入力された各検波信号から、送信側の変調処理によって付加されていた信号成分が除去される。従って、逆変調後の信号には残留搬送波周波数誤差に起因して生じる位相回転による位相成分と、受信回路 1 0 2 において付加される熱雑音等の成分のみが含まれることになる。逆変調回路 2 0 1 から出力された逆変調後の各サブキャリアの複素ベクトル信号は重み付け回路 2 0 2 に入力される。

【 0 1 5 9 】

一方、重み係数演算回路 1 0 8 は、チャネル推定回路 1 0 6 から入力される各サブキャリアのチャネル推定結果に基づいてサブキャリア毎にその通信品質に応

じた重み係数を演算して出力する。例えば、各サブキャリアの通信品質を表す尺度としては、各サブキャリア信号の受信電力レベル等が考えられる。これらの受信電力レベルはチャンネル推定回路106から入力される各サブキャリアのチャンネル推定結果を用いて簡単な演算を行うことによって求めることができる。例えば、各サブキャリアのチャンネル推定結果の振幅成分を2乗することにより求めることができる。重み係数演算回路108から出力されたサブキャリア毎の重み係数は重み付け回路202に入力される。重み付け回路202は、重み係数演算回路108から入力された各サブキャリアの重み係数に基づいて逆変調回路201から入力された逆変調後の各サブキャリアの複素ベクトル信号に対して重み付けを行い出力する。

【0160】

この重み付けは、例えば、重み係数演算回路108から出力された各サブキャリアの重み係数を、逆変調回路201から入力された逆変調後の各サブキャリアの複素ベクトル信号の振幅成分とすることにより実現できる。この重み付けにより、フェージング等によって情報の信頼度が低下している位相回転量情報を用いることにより生じる悪影響を抑制することができる。重み付け回路202から出力された重み付け後の複素ベクトル信号はシンボル内ベクトル和演算回路203に入力される。シンボル内ベクトル和演算回路203は、重み付け回路202から入力された当該OFDMシンボルの重み付け後の全ての複素ベクトル信号のベクトル和を演算する。

【0161】

このベクトル和演算によって、重み付け回路202から入力された複素ベクトル信号の位相成分の平滑化が実現されることになる。この位相成分の平滑化により、受信回路102において付加される熱雑音等の影響を抑制することができる。つまり、シンボル内ベクトル和演算回路203から出力される複素ベクトル信号の位相成分は、残留搬送波周波数誤差に起因して生じる各サブキャリアに共通する位相回転量を高精度に表していることになる。シンボル内ベクトル和演算回路203から出力された複素ベクトル信号は位相検出回路204に入力される。位相検出回路204は、シンボル内ベクトル和演算回路203から入力された複

素ベクトル信号の位相成分を検出して位相成分情報信号を出力する。位相検出回路 2 0 4 から出力された位相成分情報信号は単位量演算回路 1 1 5 に入力される。単位量演算回路 1 1 5 は、位相検出回路 2 0 4 から入力された位相成分情報信号を用いて、検波信号の残留搬送波周波数誤差に起因する 1 O F D M シンボルあたりの位相回転量を演算して出力する。

【 0 1 6 2 】

この演算は、例えば、図 1 0 に記載のチャネル推定用プリアンブル信号と特定の 1 O F D M シンボルの間の時間間隔を 1 O F D M シンボル間隔で除算した値で、位相検出回路 2 0 4 から入力された位相成分情報を除算することにより、簡単に行うことができる。単位量演算回路 1 1 5 から出力された信号は、選択回路 4 0 3 に入力される。一方、パイロット信号抽出回路 4 0 1 では、同期検波回路 1 0 7 から入力された各検波信号に含まれるパイロット信号に相当する検波ベクトル信号を抽出して出力する。パイロット信号抽出回路 4 0 1 から出力された検波ベクトル信号は、重み付け回路 7 0 1 に入力される。重み付け回路 7 0 1 は、重み係数演算回路 1 0 8 から入力された各サブキャリアの重み係数に基づいて、パイロット信号抽出回路 4 0 1 から入力された検波ベクトル信号に対して重み付けを行い出力する。

【 0 1 6 3 】

この重み付けにより、フェージング等によって情報の信頼度が低下している検波ベクトル信号を用いることにより生じる悪影響を抑制することができる。重み付け回路 7 0 1 から出力された重み付け後の各検波ベクトル信号はシンボル内ベクトル和演算回路 7 0 2 に入力される。シンボル内ベクトル和演算回路 7 0 2 は、重み付け回路 7 0 1 から入力された当該 O F D M シンボルの重み付け後の全ての検波ベクトル信号のベクトル和を演算する。このベクトル和演算によって、重み付け回路 7 0 1 から入力された重み付け後の当該シンボル中の検波ベクトル信号の位相成分の平均化処理が実現されることになる。この位相成分の平均化処理により、受信回路 1 0 2 において付加される熱雑音等の影響を抑制することができる。シンボル内ベクトル和演算回路 7 0 2 から出力された検波ベクトル信号は位相差検出回路 7 0 3 に入力されるとともに遅延回路 7 0 4 に入力される。遅延

回路 7 0 4 は、シンボル内ベクトル和演算回路 7 0 2 から入力された検波ベクトル信号を 1 O F D M シンボル期間だけ遅延させて出力する。遅延回路 7 0 4 によって 1 O F D M シンボル分だけ遅延した各検波ベクトル信号は、位相差検出回路 7 0 3 に入力される。位相差検出回路 7 0 3 は、遅延回路 7 0 4 から入力された 1 O F D M シンボル分だけ遅延した各検波ベクトル信号に対するシンボル内ベクトル和演算回路 7 0 2 から入力された検波ベクトル信号の位相差を検出して位相差分信号を 1 O F D M シンボル毎に出力する。位相差検出回路 7 0 3 から出力された位相差分信号は、積分回路 7 0 5 に入力される。積分回路 7 0 5 は、位相差検出回路 7 0 3 から入力された位相差分信号を積分処理することにより、残留搬送波周波数誤差による累積位相回転量を算出して出力する。

【 0 1 6 4 】

この累積位相回転量は、同期検波回路 1 0 7 から出力された当該 O F D M シンボル中の各検波信号に含まれる残留搬送波周波数誤差に起因して生じた累積の位相回転量である。積分回路 7 0 5 から出力された累積位相回転量信号は、平滑化回路 7 0 6 に入力される。平滑化回路 7 0 6 は、積分回路 7 0 5 から入力された累積位相回転量を複数 O F D M シンボルに渡って時間方向に平滑化処理を行い出力する。この平滑化処理は、例えば、複数 O F D M シンボルに渡る移動平均処理によって実現することができる。

【 0 1 6 5 】

この平滑化処理によって、受信回路 1 0 2 において付加される熱雑音等の影響をさらに抑制することができる。平滑化回路 7 0 6 から出力された平滑化処理後の累積位相回転量信号は、除算回路 7 0 7 に入力される。除算回路 7 0 7 では、平滑化回路 7 0 6 から入力された平滑化処理後の累積位相回転量を、積分回路 7 0 5 で積分を行った O F D M シンボル数と平滑化回路 7 0 6 で平滑化処理を行った O F D M シンボル数に応じた値で除算することにより、残留搬送波周波数誤差に起因して生じた各検波信号の 1 O F D M シンボルあたりの位相回転量を精度良く求めることができる。例えば、積分回路 7 0 5 で 1 0 O F D M シンボル分の積分処理を行い、後続の平滑化回路 7 0 6 で 3 O F D M シンボル分の移動平均処理を行ったと仮定すると、この 3 O F D M シンボル分の移動平均処理によって必然

的に 1 OFDM シンボル分の遅延が生じる。

【0166】

従って、除算回路 707 は、入力された値を 9 で除算して 1 OFDM シンボルあたりの位相回転量を算出することになる。この積分回路 705 において、前述の特定の 1 シンボル中に含まれる検波信号の数よりも十分に大きい OFDM シンボル相当数を積分処理が行われていれば、除算回路 707 は単位量演算回路 115 から出力される信号よりも高い精度で残留搬送波周波数誤差に起因する 1 OFDM シンボルあたりの位相回転量を求めることができる。除算回路 707 から出力された残留搬送波周波数誤差に起因する 1 OFDM シンボルあたりの位相回転量信号は、選択回路 403 に入力される。選択回路 403 では、単位量演算回路 115 から入力された位相回転量信号と残留位相回転量検出回路 402 から入力された位相回転量信号のうち、精度の高い一方の信号を選択して出力する。

【0167】

どちらの信号の精度が高いかについては、例えば、同期検波回路 107 が処理した各検波信号の OFDM シンボル相当数に応じて判定することができる。選択回路 403 から出力された精度の高い残留搬送波周波数誤差に起因する 1 OFDM シンボルあたりの位相回転量情報信号は位相回転量推定回路 116 に入力される。位相回転量推定回路 116 は、選択回路 403 から入力される精度の高い残留搬送波周波数誤差に起因する 1 OFDM シンボルあたりの位相回転量情報に基づいて、同期検波回路 107 から出力される検波信号に付加されている残留搬送波周波数誤差に起因して生じる位相回転量を推定して位相回転量情報信号を出力する。

【0168】

この位相回転量の推定は、例えば、当該検波信号を含んでいた OFDM シンボルと図 10 に記載のチャネル推定用プリアンブル信号の間の時間間隔を 1 OFDM シンボル間隔で除算した値を、選択回路 403 から入力される精度の高い残留搬送波周波数誤差に起因する 1 OFDM シンボルあたりの位相回転量に乗算することにより、簡単に行うことができる。位相回転量推定回路 116 から出力された各検波信号の位相回転量情報信号は位相回転補正回路 110 に入力される。位

相回転補正回路 1 1 0 は、位相回転量推定回路 1 1 6 から入力された各検波信号の位相回転量情報信号を用いて各検波信号の残留搬送波周波数誤差に起因する位相回転を補正し、位相回転補正後の検波信号を出力する。位相回転補正回路 1 1 0 から出力された位相回転補正後の検波信号は識別回路 1 1 7 に入力される。識別回路 1 1 7 は、入力された位相回転補正後の検波信号に対してシンボル判定を行い、判定結果を出力する。

【 0 1 6 9 】

図 9 は、この発明の実施の形態の第 9 の例を示すブロック図である。なお、図 9 は残留搬送波周波数誤差による位相回転を検出するために用いる特定の 1 つの OFDM シンボルの各サブキャリア信号が、例えば BPSK や QPSK のように、ある基準信号点から任意の基準信号点への遷移が符号の反転処理のみによって可能であるような変調方式によって変調されている場合の構成例であって、請求項 9 の発明に対応する。この例における OFDM 復調装置の動作について、先に説明した第 8 の例と異なる部分について、以下に説明する。

【 0 1 7 0 】

すなわち、第 8 の例では特定シンボル抽出回路 1 0 9 の出力信号である各検波信号は逆変調回路 2 0 1 に入力されるとともに硬判定回路 1 1 2 に入力されていたが、本例では、各検波信号は符号反転制御回路 3 0 1 に入力されるとともに硬判定回路 1 1 2 に入力されている。符号反転制御回路 3 0 1 は、入力された各検波信号に対する逆変調処理を、符号反転処理によって実現している。符号反転制御回路 3 0 1 から出力された符号反転処理後の各複素ベクトル信号は重み付け回路 2 0 2 に入力される。

【 0 1 7 1 】

以上の動作以外は第 8 の例と同様である。

【 0 1 7 2 】

【発明の効果】

以上説明したように本発明によれば、送受間で搬送波周波数にずれがある場合であっても、小さい処理遅延でパケットの先頭部分から簡易かつ高精度に OFDM 信号を復調することが可能である。また、チャネル推定結果を利用して重み付

けを行いさらに 1 OFDM シンボル内で平滑化を行った情報を用いて同期検波後の各サブキャリア信号の位相回転を検出するため、フェージングや熱雑音等の影響を抑制することが可能である。さらに、パケット先頭付近の OFDM シンボルについて特定の 1 OFDM シンボルを用いて検出した位相回転情報を用いて補正を行い、それ以外の OFDM シンボルについてパイロット信号を利用して検出した位相回転情報を用いて補正を行うことにより、パケット全体に渡って高精度に OFDM 信号を復調することが可能である。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の実施の形態の第 1 の例を示す図である。

【図 2】

本発明の実施の形態の第 2 の例を示す図である。

【図 3】

本発明の実施の形態の第 3 の例を示す図である。

【図 4】

本発明の実施の形態の第 4 の例を示す図である。

【図 5】

本発明の実施の形態の第 5 の例を示す図である。

【図 6】

本発明の実施の形態の第 6 の例を示す図である。

【図 7】

本発明の実施の形態の第 7 の例を示す図である。

【図 8】

本発明の実施の形態の第 8 の例を示す図である。

【図 9】

本発明の実施の形態の第 9 の例を示す図である。

【図 10】

OFDM 信号のバーストフォーマットの例を示す図である。

【図 11】

BPSK変調方式における位相平面上の基準信号点を示す図である。

【図 1 2】

従来のOFDM復調装置の構成例を示す図である。

【符号の説明】

- 1、1 0 1 アンテナ
- 2、1 0 2 受信回路
- 3、1 0 3 同期処理回路
- 4、1 0 4 ガードインターバル除去回路
- 5、1 0 5 フーリエ変換回路
- 6、1 0 6 チャネル推定回路
- 7、1 0 7 同期検波回路
- 8 パイロット信号抽出回路
- 9、1 1 1 位相回転量検出回路
- 1 0 基準パイロット信号記憶回路
- 1 1、1 1 4 シンボル内平滑化回路
- 1 2 移動平均回路
- 1 3、1 1 0 位相回転補正回路
- 1 4、1 1 7 識別回路
- 1 0 8 重み係数演算回路
- 1 0 9 特定シンボル抽出回路
- 1 1 2 硬判定回路
- 1 1 3、2 0 2、7 0 1 重み付け回路
- 1 1 5 単位量演算回路
- 1 1 6 位相回転量推定回路
- 2 0 1 逆変調回路
- 2 0 3、7 0 2 シンボル内ベクトル和演算回路
- 2 0 4 位相検出回路
- 3 0 1 符号反転制御回路
- 4 0 1 パイロット信号抽出回路

4 0 2 残留位相回転量検出回路

4 0 3 選択回路

7 0 3 位相差検出回路

7 0 4 遅延回路

7 0 5 積分回路

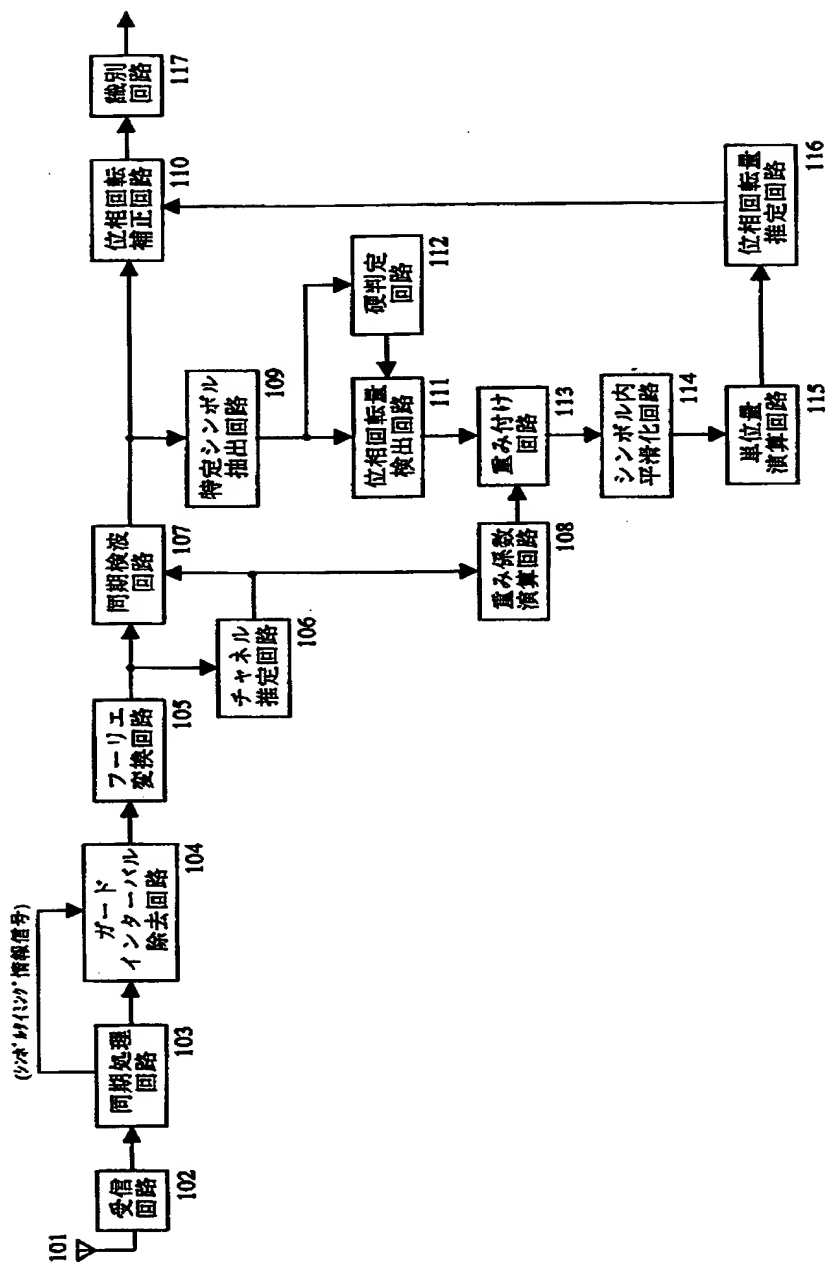
7 0 6 平滑化回路

7 0 7 除算回路

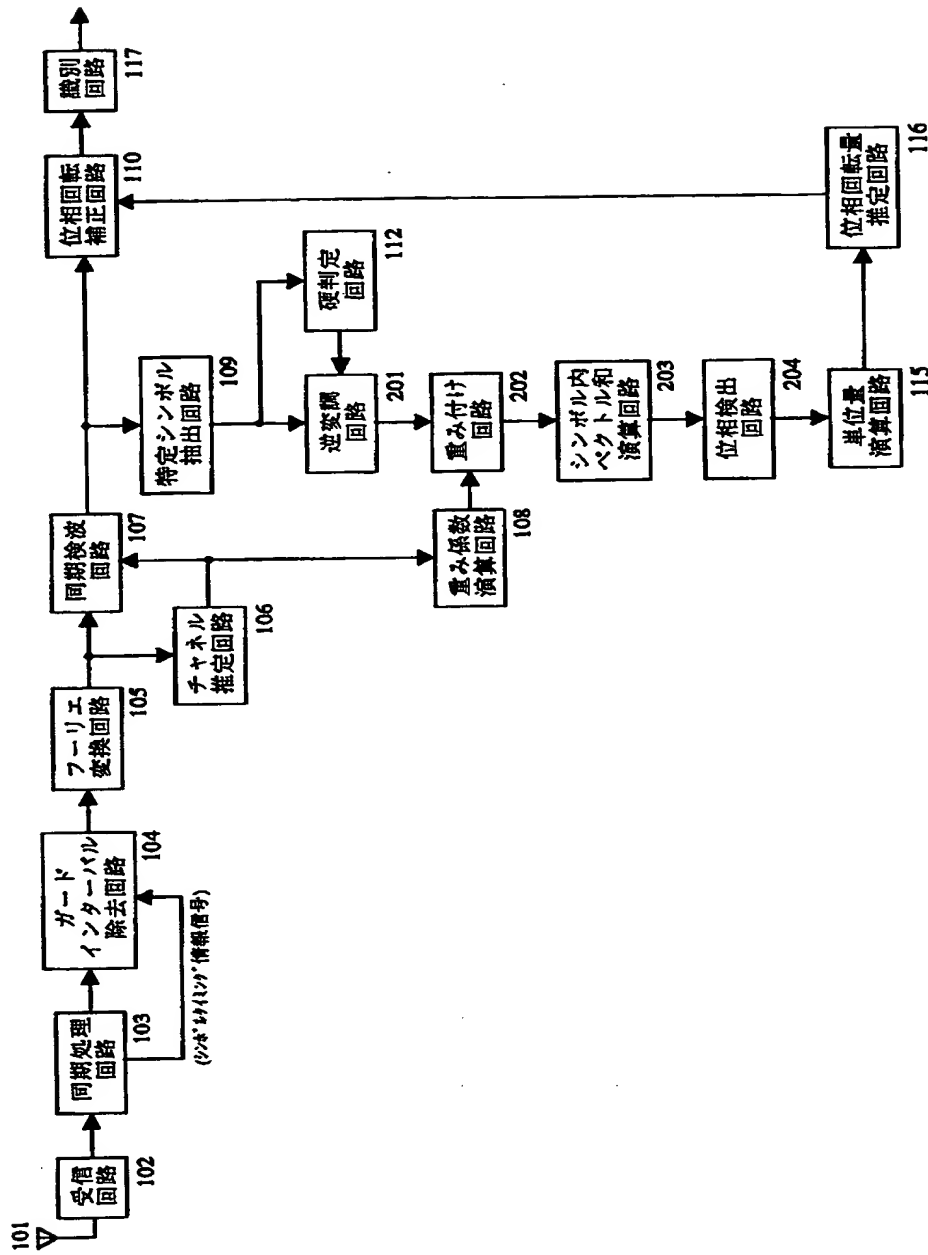
【書類名】

図面

【図 1】

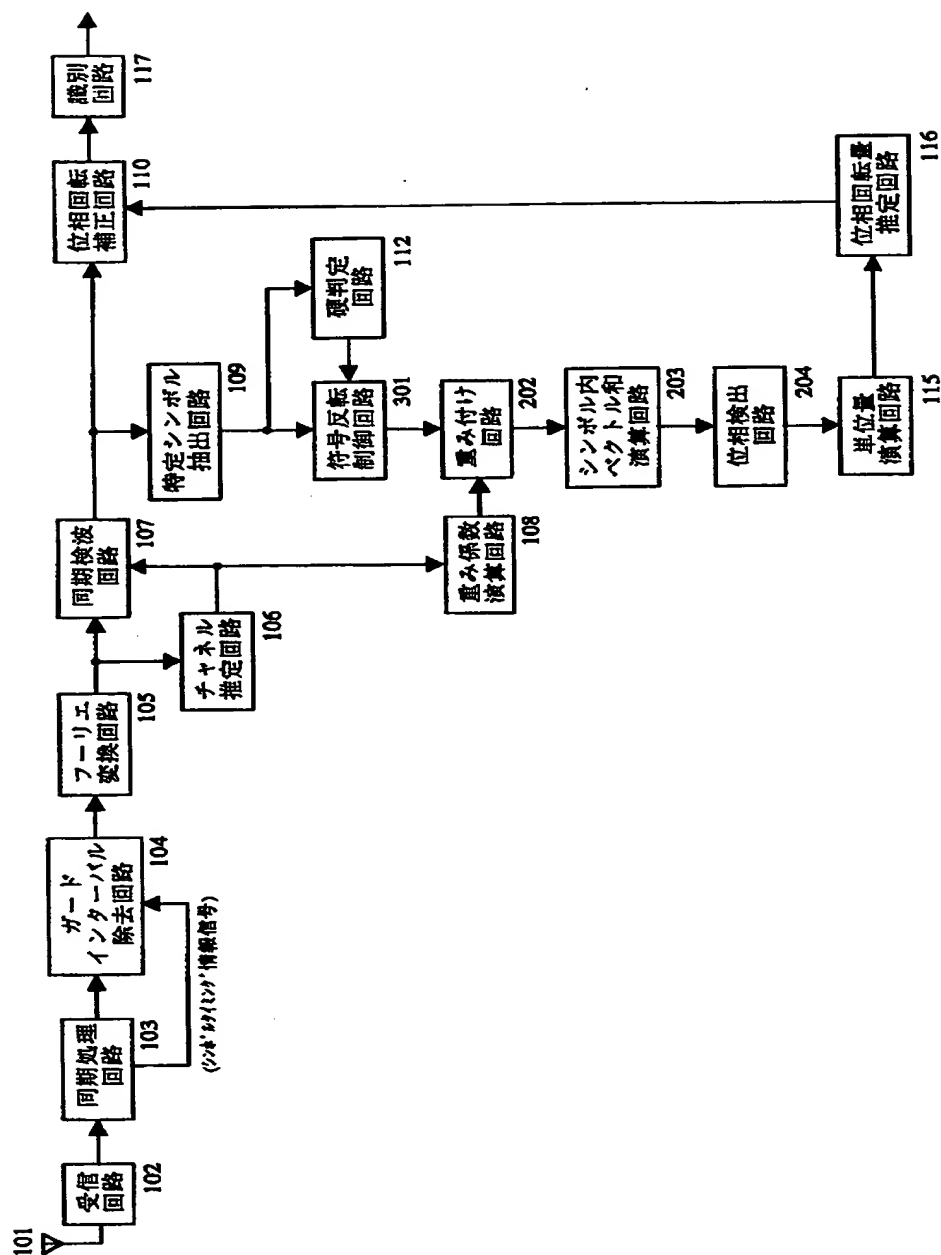


【図 2】



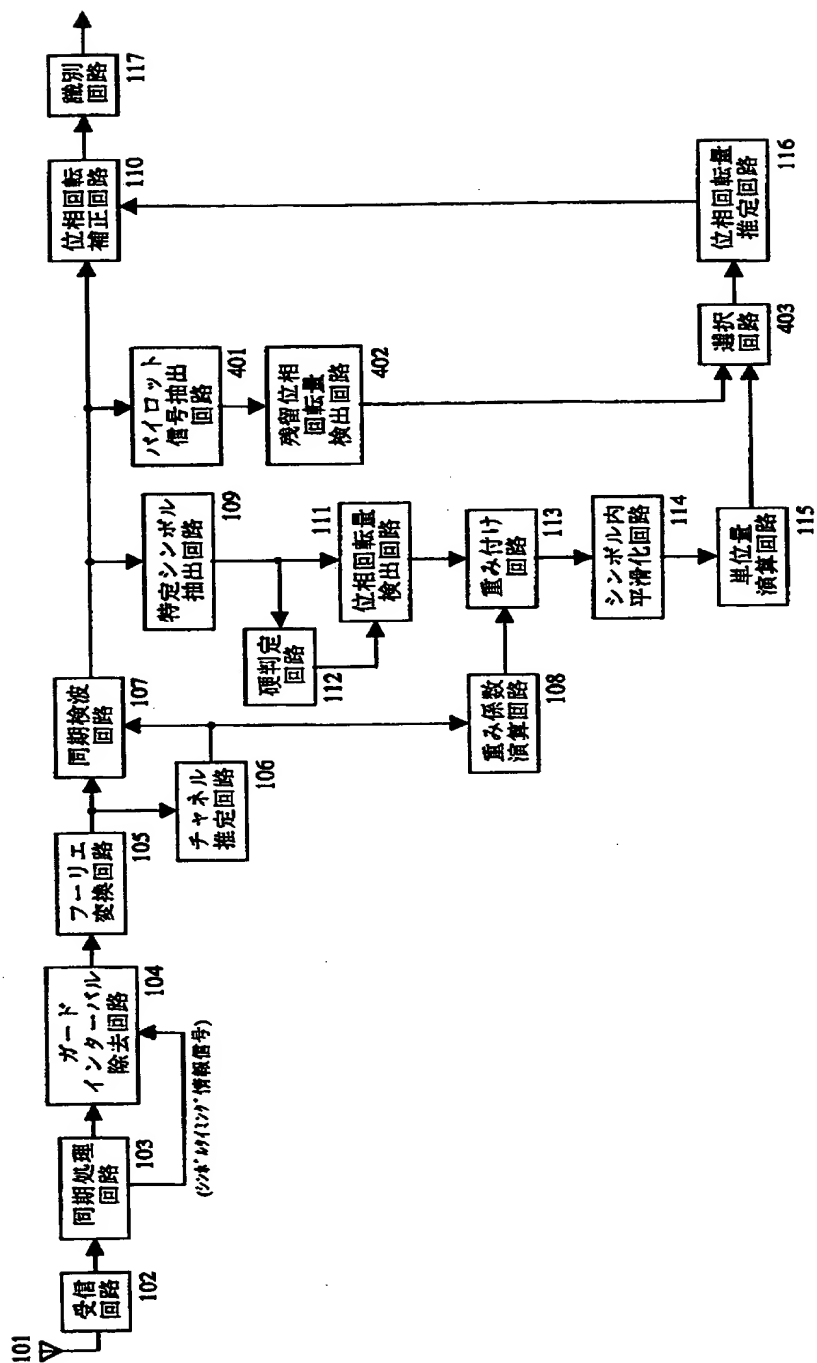
本発明の実施の形態の第2の例を示す図

【図 3】



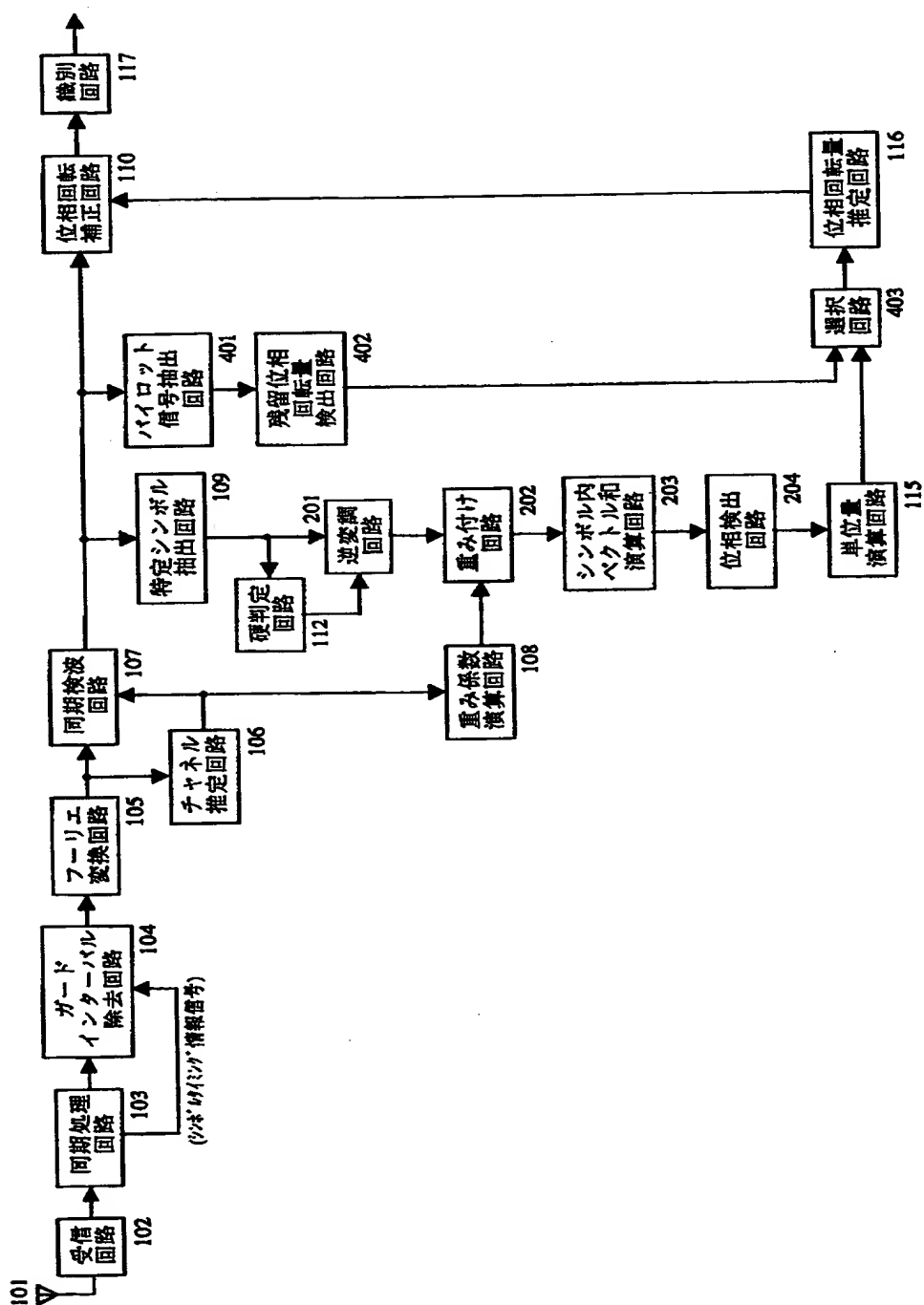
本発明の実施の形態の第3の例を示す図

【図4】



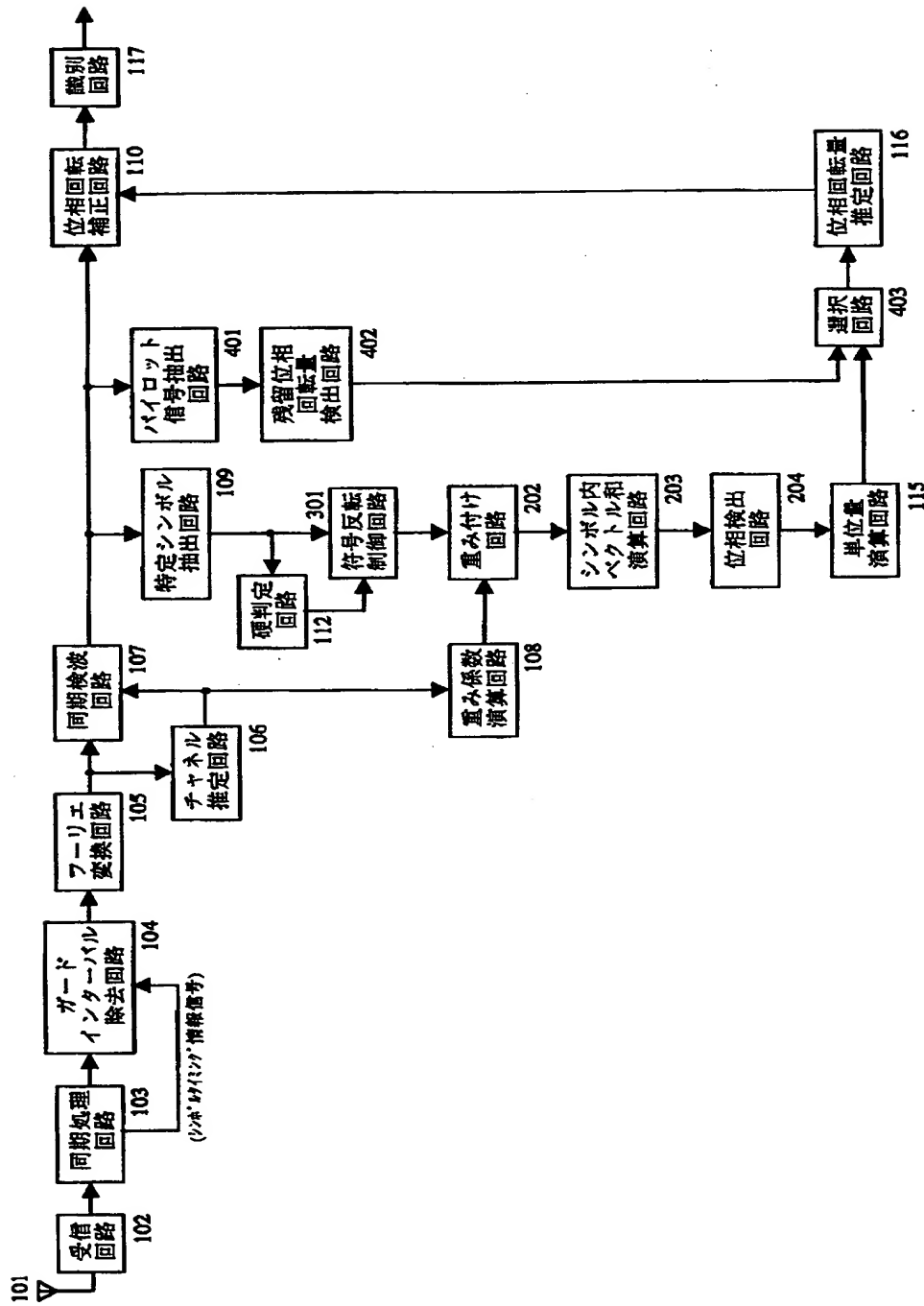
本発明の実施の形態の第4の例を示す図

【図 5】



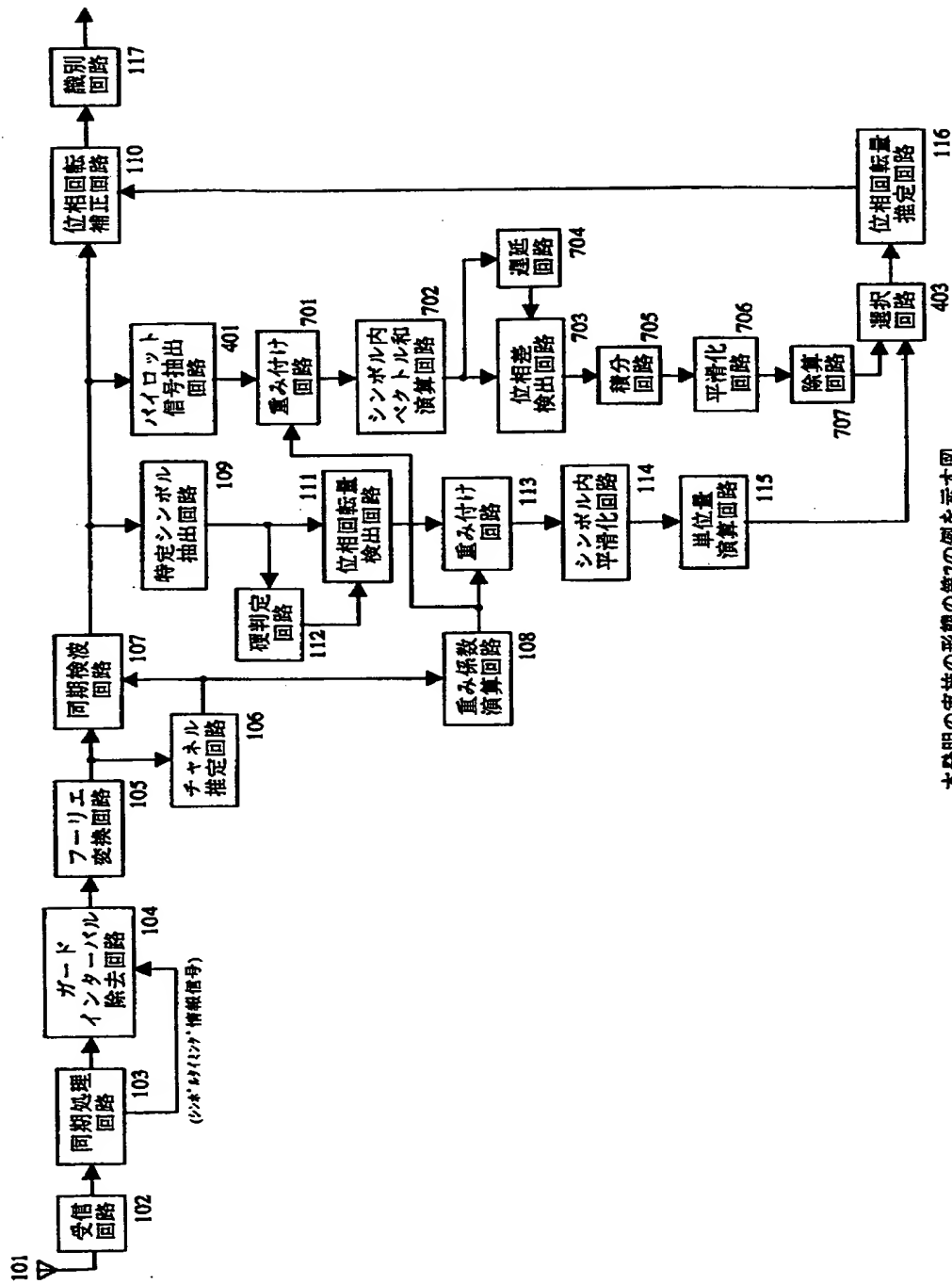
本発明の実施の形態の第5の例を示す図

【図 6】



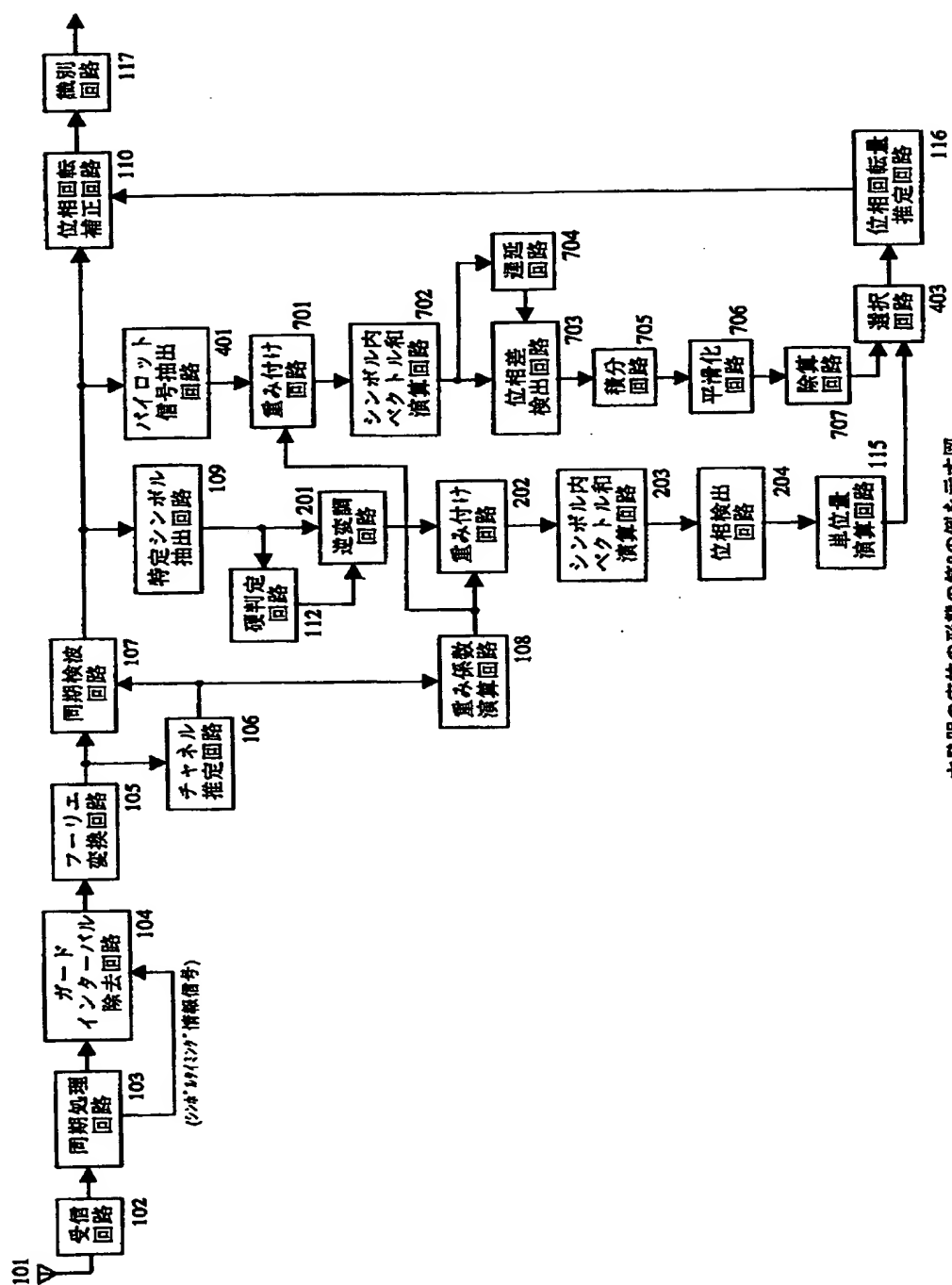
本発明の実施の形態の第6の例を示す図

【図 7】



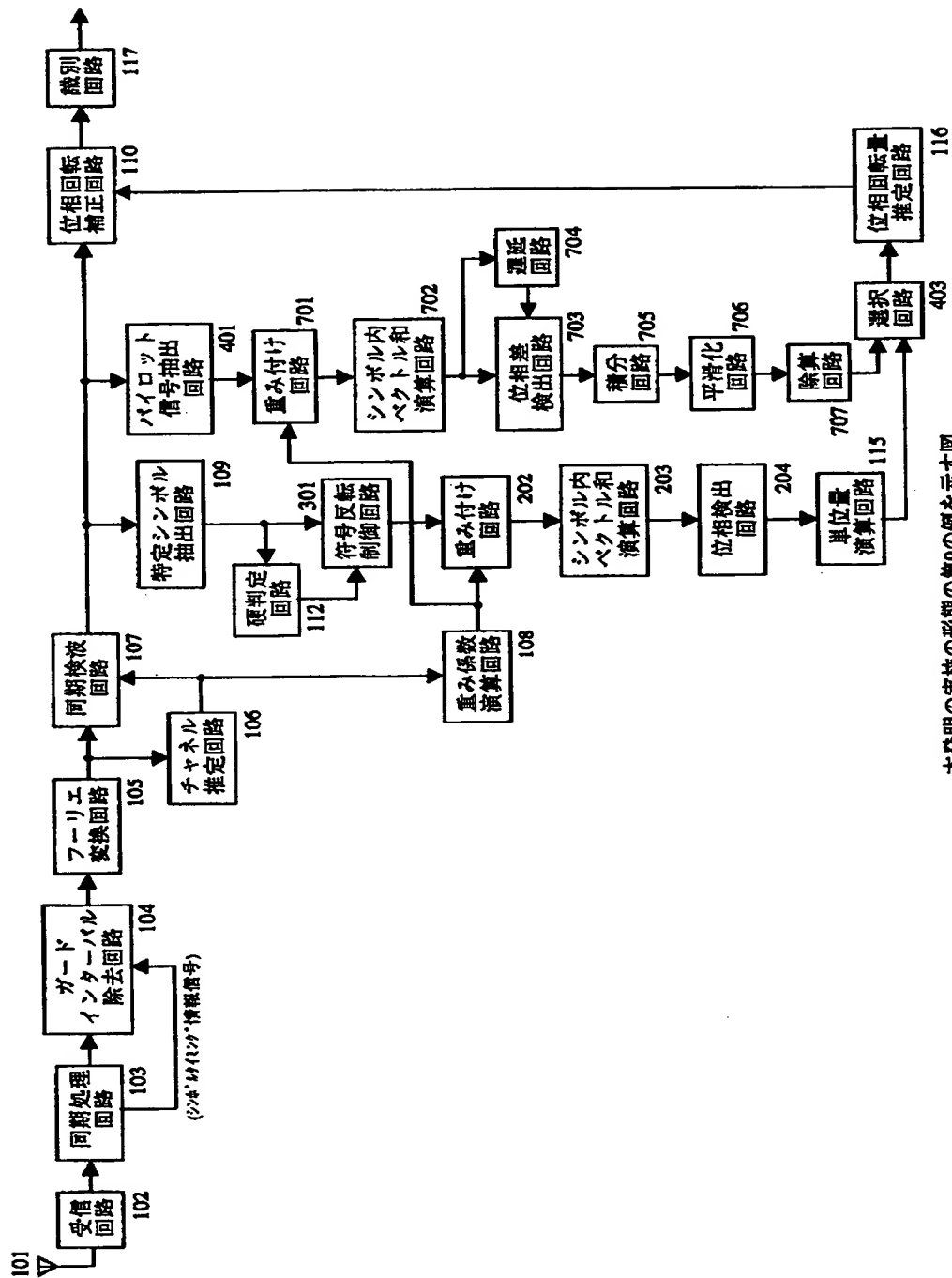
本発明の実施の形態の第7の例を示す図

【図 8】



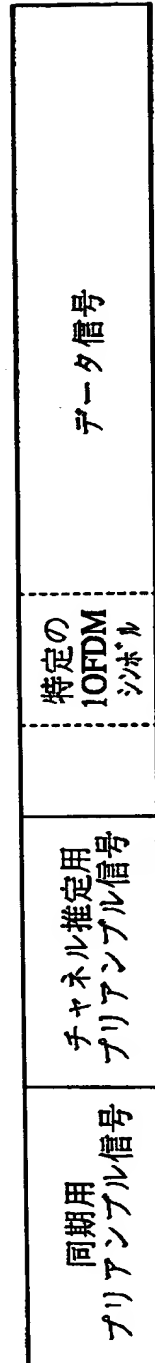
本発明の実施の形態の第8の例を示す図

【図 9】



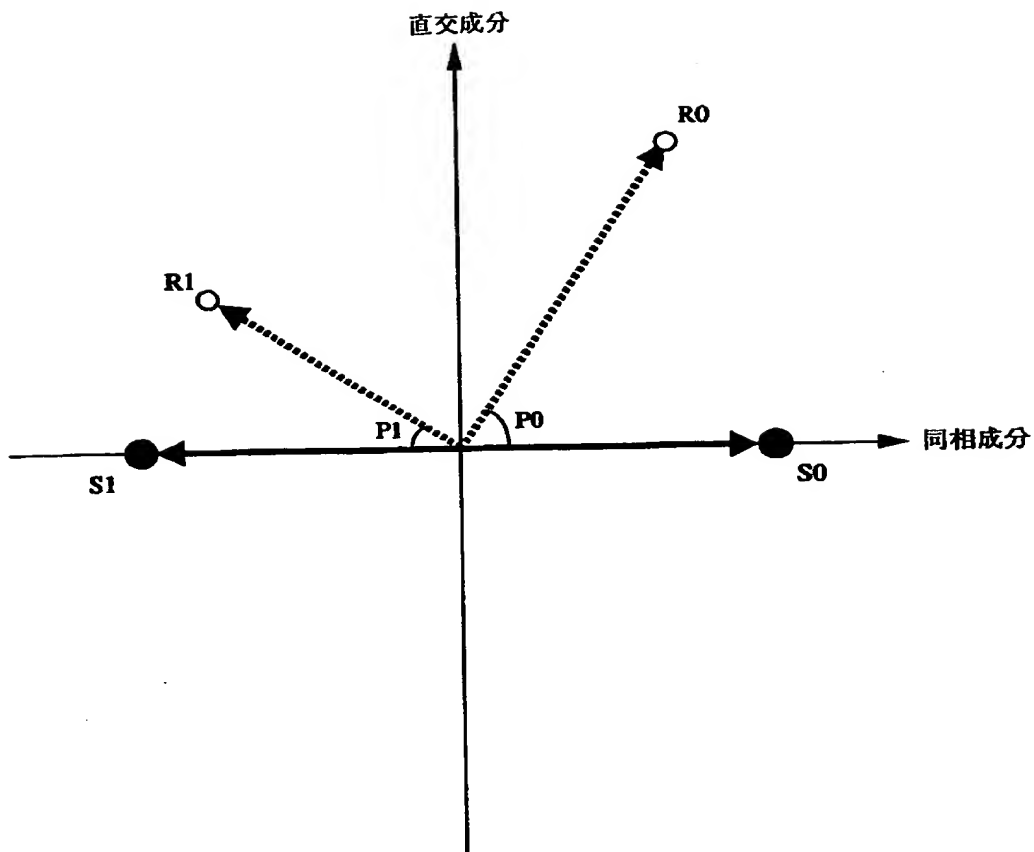
本発明の実施の形態の第9の例を示す図

【図10】



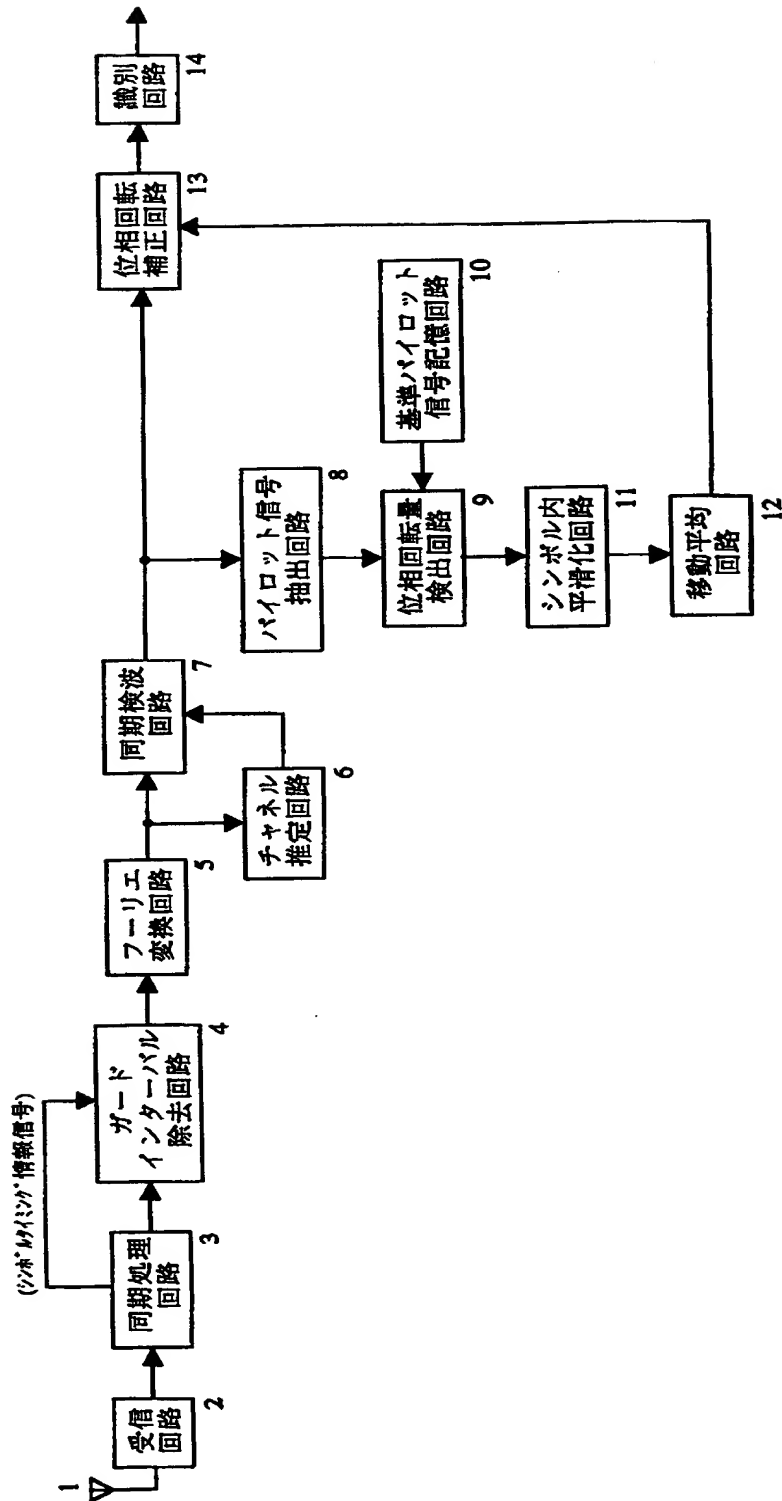
OFDM信号のバーストフォーマットの例を示す図

【図 1 1】



BPSK変調方式における位相平面上の基準信号点を示す図

【図12】



従来のOFDM復調装置の構成例を示す図

【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 送受間で搬送波周波数にずれがある場合でも小さな処理遅延で高精度に OFDM 信号を復調する。

【解決手段】 同期検波 (107) 後に位相回転補正 (110) を行う OFDM 復調装置において、前記位相回転補正量を決定するために、データ信号の中の特定の OFDM シンボルに含まれるサブキャリア信号の位相回転を検出し (111)、該位相回転をサブキャリアの S/N に従って重み付けし (113)、シンボル内平滑化し (114)、チャネル推定用プリアンプル信号を基準とした位相回転量を求め (115、116)、該位相回転量に従って同期検波出力に対し、位相回転補正を行う。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000004226]

1. 変更年月日 1999年 7月15日

[変更理由] 住所変更

住 所 東京都千代田区大手町二丁目3番1号

氏 名 日本電信電話株式会社

THIS PAGE BLANK (USPTO)